



Physikalisches Lexikon.

Encyclopädie

der

Physik und ihrer Hülfswissenschaften: der Technologie, Chemie, Meteorologie, Geographie, Geologie, Astronomie, Physiologie u. nach dem Grade ihrer Verwandtschaft mit der Physik.

Zweite,

in Verbindung mit mehreren Gelehrten unter Benützung der neuesten Schriften des In- und Auslandes neu bearbeitete, mit Angabe der Literatur und der Quellen bereicherte, mit mehreren Tausend in den Text gedruckten Abbildungen von Apparaten, Instrumenten und Maschinen ausgestattete und zahlreiche Tabellen enthaltende Auflage.

Begonnen von

Prof. Dr. Oswald Armbach.

Fortgesetzt von

Dr. C. S. Cornelius,

Docent an der Universität Halle.

Sechster Band.

Sinuselektrometer — 3.

Leipzig

Verlag von Otto Wigand.

1859.

Q 121
M3
1851
v. 6

Sinuselektrometer. Man hat ein Elektroskop von Beltier *), bei welchem ein horizontaler Kupferarm fest im magnetischen Meridian steht und in seiner Mitte eine kleine Stahlpfanne trägt, auf welcher eine leichte, mit einem kleinen Magneten versehene Kupfernadel mittelst einer Spitze beweglich ist. Bei verschiedenen elektrischen Ladungen dieses Systems wird die Nadel um verschiedene Winkel abgelenkt, deren Sinus unmittelbar das Verhältniß der abstoßenden Kräfte angiebt. Auch könnte man die letzteren, falls das magnetische Moment der Nadel und die Intensität des Erdmagnetismus am Beobachtungsorte bekannt wären, in absolutem Maße ausdrücken, allein es läßt sich aus ihnen nicht auf die Größe der Ladungen schließen, insofern unter den obwaltenden Umständen die bei verschiedenen Winkeln verschiedene Vertheilungsweise der Elektricität nicht bestimmbar ist. Kohlrausch **) machte nun den feststehenden abstoßenden Arm beweglich und verwandelte dadurch dieses Elektroskop in ein Elektrometer, dem er, nach Analogie der Sinusbussole, den Namen eines Sinuselektrometers gab.

Die Theorie dieses Elektrometers ist nun nach Kohlrausch folgende. Der abstoßende Arm sei, unbeschadet seiner Isolation, in der Horizontalebene um seinen Mittelpunkt, wo er die Magnetnadel trägt, drehbar, auch seinem größten Theile nach mit der Nadel in gleicher Höhe. Die Nadel steht im Meridian, falls dieses System nicht elektrisirt ist; der Arm sei dann so zu ihr gestellt, daß das Kreuz, welches beide Körper bilden, den spitzen Winkel α macht. Wird nun das Quantum Q von Elektricität mitgetheilt, so verbreitet sich dieses auch über das Kreuz, und die Nadel, der bewegliche Theil, weicht aus ihrer Lage im Meridian so weit aus, bis das dadurch hervorgebrachte magnetische Drehungsmoment der abstoßenden Kraft der Elektricität das Gleichgewicht hält. Dreht man nun den Arm in der Richtung der Ablenkung der Nadel, so weicht diese noch weiter aus, doch wird, da die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus sie zurückzudrehen strebt, mit dem Sinus des Ablenkungswinkels wächst, der Winkel zwischen der Nadel und dem Arm immer kleiner werden, je weiter man dreht,

*) Ann. de Chim. T. LXII. p. 422.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 497.

und endlich kann der Zustand eintreten, wo die um den Winkel φ jetzt vom Meridian abgelenkte Nadel und der Arm wieder den Winkel α zusammen machen. Dies wird allemal dann möglich sein, wenn das von der abstoßenden Kraft der Elektrizität beim Winkel α hervorgebrachte Drehungsmoment nicht größer ist als das Product TM der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus in das Moment der Nadel, was also hierbei vorausgesetzt wird. Bringt man jetzt das entladene Körpersystem in seine ursprüngliche Lage, theilt ihm ein anderes Elektrizitätsquantum Q' mit und wiederholt die ganze Prozedur, so wird sich ein anderer Winkel φ' finden, welchen, um mit dem Arm den Winkel α zu bilden, die Magnetnadel mit dem Meridian macht. Es ist dann $Q : Q' = \sqrt{\sin \varphi} : \sqrt{\sin \varphi'}$.

Die Nadel bildet mit dem Arm immer dasselbe Körpersystem, wenn sie mit ihm ein Kreuz unter dem bestimmten Winkel α macht. Jedes Elektrizitätsquantum vertheilt sich aber auf demselben Körpersystem auf dieselbe Weise. Nimmt man nämlich ein willkürliches Elektrizitätsquantum q zur Einheit an, und würde bei dessen Uebertragung an das Elektrometer ein bestimmtes Flächenelement $= p$ der Nadel die Elektrizität e bekommen, irgend ein solches Flächenelement p' des Armes die Elektrizitätsmenge e' , so wird durch das Quantum Q , wenn dieses $= m q$ ist, dem ersteren die Elektrizitätsmenge me , dem letzteren me' mitgetheilt, und eben so werden durch Q' , wenn dieses $= n q$ ist, die Mengen ne und ne' auf den betreffenden Stellen p und p' hervorgebracht. Ist die Entfernung dieser Stellen von einander beim Winkel α des Kreuzes gleich r , so sind die durch die Quantitäten Q und Q' zwischen diesen Flächenelementen erzeugten abstoßenden Kräfte resp. $\frac{m^2 ee'}{r^2}$ und $\frac{n^2 ee'}{r^2}$. Die gesammte zwischen den Armen des Kreuzes

vorhandene abstoßende Kraft ist nun nichts anderes als die Summe aller solcher zwischen den einzelnen Flächenelementen vorhandenen abstoßenden Kräfte, daher unterscheiden sich die beiden Integrale, durch welche bei den Quantitäten Q und Q' diese abstoßenden Kräfte repräsentirt werden, wenn man sie wirklich darstellen könnte, in nichts als in den vor den Integralzeichen stehenden constanten Factoren m^2 und n^2 , und diese abstoßenden Kräfte, welche andererseits durch $TM \sin \varphi$ und $TM \sin \varphi'$ gegeben werden, verhalten sich wie m^2 zu n^2 . Da sich nun Q zu Q' wie m zu n verhält, so verhalten sich diese Quantitäten auch wie $\sqrt{\sin \varphi} : \sqrt{\sin \varphi'}$.

Da das Instrument bei demselben Beobachtungswinkel α zwischen Nadel und Arm keinen großen Spielraum für die Vergleichung verschiedener elektrischer Quantitäten darbietet, so hat Kohlrausch noch den Gebrauch dieses Instruments in folgender Weise erweitert.

Der Umstand, daß die Nadel, wenn sie durch elektrische Abstoßung um den Winkel φ aus dem Meridian abgelenkt ist, zugleich mit dem abstoßenden Arme den Winkel α bilde, wird durch $\varphi\alpha$ bezeichnet; und hiernach bedeutet $\psi_{\alpha+\beta}$, daß die Nadel, wenn sie mit dem Arm ein Kreuz vom Winkel $\alpha + \beta$ bildet, um den Winkel ψ vom Meridian abweiche. Eben so sind die Bezeichnungen Kreuz α , Kreuz $\alpha + \beta$ eingeführt. — Bedingt nun dasselbe Elektrizitätsquantum Q im Instrumente den Winkel $\varphi\alpha$ und den Winkel $\varphi'\alpha + \beta$, wo $\varphi > \varphi'$, wenn $\alpha < \alpha + \beta$,

so ist die Verhältnißzahl $\sqrt{\frac{\sin \varphi\alpha}{\sin \varphi'\alpha + \beta}}$ unabhängig von der Größe des Quan-

tums Q , also constant. Man hat nämlich, wenn ein anderes Quantum Q' die Winkel $\psi\alpha$ und $\psi'\alpha + \beta$ bewirkt, $Q : Q' = \sqrt{\sin \varphi\alpha} : \sqrt{\sin \psi\alpha} = \sqrt{\sin \varphi'\alpha + \beta} : \sqrt{\sin \psi'\alpha + \beta}$; so daß also $\sqrt{\frac{\sin \varphi\alpha}{\sin \varphi'\alpha + \beta}} = \sqrt{\frac{\sin \psi\alpha}{\sin \psi'\alpha + \beta}} = v$, und $\sqrt{\sin \varphi'\alpha + \beta} = \sqrt{\frac{\sin \varphi\alpha}{v}}$ ist.

Die Verhältniszahl v läßt sich nun für die verschiedensten Winkel α und $\alpha + \beta$ aus dem Mittel vieler unter günstigen Umständen angestellter Messungen sehr scharf bestimmen, und denkt man sich eine kleine Tabelle, welche diese Verhältniszahlen für die verschiedenen oder auch nur für einige zum Gebrauch notwendige Stellungen des Kreuzes enthält, so dient diese Tabelle dazu, um, wenn für ein elektrisches Quantum Q der Ablenkungswinkel $\varphi\alpha$ bestimmt ist, ohne Versuch zu ermitteln, welchen Ablenkungswinkel φ' dasselbe Quantum bei dem Kreuze $\alpha + \beta$ hervorbringen würde. Hat man also mit einer Quantität Q , welche den Ablenkungswinkel $\varphi\alpha$ gezeigt hat, ein viel größeres Quantum Q' zu vergleichen, bei welchem das Kreuz α nicht zu Stande kommen kann, so beobachtet man den Ablenkungswinkel $\psi\alpha + \beta$ für einen solchen Winkel $\alpha + \beta$, dessen Verhältniszahl v in der Tabelle steht. Es folgt dann sogleich aus den beiden übrigen (zuletzt) aufgeführten Formeln $Q : Q' = \frac{\sqrt{\sin \varphi\alpha}}{v} : \sqrt{\sin \varphi\alpha + \beta}$, oder

$$Q' = v \sqrt{\frac{\sin \psi\alpha + \beta}{\sin \varphi\alpha}} \cdot Q.$$

Nimmt man nun noch, der Bequemlichkeit wegen, dasjenige Elektrizitätsquantum q , welches beim Kreuz α die Nadel rechtwinklig zum Meridian stellt, als Einheit an, so ist Q durch $\sqrt{\sin \varphi\alpha}$ ausgedrückt, sobald man diese Einheit als Benennung hinzudenkt, und die letzte Gleichung geht über in $Q' = v \cdot \sqrt{\sin \psi\alpha + \beta}$.

Hieraus resultirt nun die praktische Regel: „Ein bei dem Kreuz $\alpha + \beta$ gemessenes Elektrizitätsquantum wird auf die festgesetzte Einheit reducirt, indem man die Quadratwurzel aus dem Sinus des Ablenkungswinkels der Magnetnadel mit der zum Winkel $\alpha + \beta$ gehörigen Verhältniszahl v der Tabelle multiplicirt.“

Das Instrument hat nun im Wesentlichen folgende Einrichtung. Die Messingssäule a (s. umstehende Figur) ist mit Schellack b in eine auf das Fußbrett aufgeschraubte Messinghülse eingekittet. Der dicke Zuleitungsdraht c von Messing steckt in dieser Säule und ragt von da frei in die Luft. Mit ihm wird die Elektrizitätsquelle, z. B. eine elektrische Batterie, verbunden. Auf der Säule a steckt mittelst eines Conus, in der Säule leicht drehbar, ein Messingstift, welcher die mit dem doppelten Stahlspiegel ss' versehene Magnetnadel trägt. Mit diesem Stifte ist auch der gebogene Messingdraht ff' fest verbunden. Die horizontale Messingscheibe g , Bodenplatte genannt, hat in der Mitte nach unten zu einen 1 Centimeter breiten, im Durchmesser 3 Centim. weiten Ring, in welchen der Stift mit Schellack eingekittet ist. Diese Scheibe hat einen niedrigen, emporsteigenden Rand h , trägt einen Griff i und einen Nonius n , welcher über dem auf Holzsäulen befestigten getheilten Kreise spielt. Außerdem schleift die Boden-

platte auf einer sehr schwachen Messingfeder, welche in dem nach der Erde abgeleiteten Kreise steht. — In den Rand *h* der Bodenplatte wird ein Cylindermantel *o o* von Messing gesetzt, welcher oben mit einer Glasplatte *p* geschlossen ist, die sich an einem Knopfe abheben läßt. Der Mantel *o o*, welcher in der Figur so, als ob er durchsichtig wäre, gezeichnet ist, trägt einen Spiegel *t* und ihm gegenüber einen mit einem Planglase geschlossenen Schlitze *q*, über welchem eine verticale Marke *r* in Form eines schwarzen Striches auf sehr weißem Papier angebracht ist. Der Cylindermantel ist genau in den Rand *h* eingeschliffen, kann jedoch beim Festhalten des Griffes *i* in ihm gedreht werden.



Sieht man durch den Schlitze *q*, so bemerkt man im Spiegel *t* den Schlitze selbst, die Marke *r* und den Stahlspiegel *s'*. Steht überdies der Magnet rechtwinklig auf dieser Visirlinie, so sieht man im Spiegelbild des Spiegels *s'* ebenfalls die Marke *r*. Das Licht von *r* wird nämlich vom Spiegel *t* auf den Spiegel *s'*, von diesem wieder nach *t* und von *t* nach dem Schlitze *q* geworfen. Es wird dies ermöglicht durch eine kleine Neigung des Spiegels *s'* gegen die Verticalebene. Indem man oben am Spiegel *s'* einen kleinen schwarzen Strich anbringt, kann man durch Drehen am Griffes *i* das Spiegelbild der Marke im Spiegelbilde des Spiegels *s'* außerordentlich genau einstellen. Man kann dann sagen: „Die Nadel spielt ein“, insofern sie dann senkrecht zur Visirlinie steht. Durch das Drehen am Griffes *i* wird zugleich die Visirlinie und der abstoßende Arm gedreht, so daß bei demselben Stande des Cylindermantels im Rande *h* der Bodenplatte trotz alles Drehens die Visirlinie mit der Richtung des Armes auch immer denselben Winkel *y* bildet. Sobald dann die Magnetnadel einspielt, d. h. rechtwinklig auf der Visirlinie steht, bildet sie mit dem Arm auch immer das Kreuz *a*, d. h. sie macht mit ihm den Winkel $\alpha = 90^\circ - y$. Dreht man nun den Cylindermantel bei festgehaltenem Griffes *i* in dem Rande *h* nach der Richtung, in welcher die Magnetnadel abgestoßen wird, um einen Winkel β herum, so macht die Visirlinie jetzt mit dem abstoßenden Arm den Winkel $y - \beta$, dagegen bildet die einspielende Magnetnadel mit ihm das Kreuz $\alpha + \beta$, der Ablenkungswinkel φ vom Meridian mag sein, welcher er will. Dieser letztere wird gefunden, indem man die Stellung des Nonius vor und nach der Mittheilung der Electricität bei einspielender Nadel auf dem getheilten Kreise abliest. Um die Stände des Cylindermantels im Rande *h* immer sogleich wiederfinden zu können, trägt der letztere in Form eines feinen schwarzen Striches ein Zeichen, und eben solche Zeichen finden sich mit Zahlen überschrieben außen auf dem Cylindermantel. Das Beharren der nicht elektrisirten Nadel im Meridian läßt sich dazu benutzen, von dem ersten Striche, welcher das Kreuz *a* bezeichnet, und wobei α passend etwa 5° groß ist, die folgen-

den Striche genau 5° , 10° , 20° u. anzubringen. Dann kann man den Fuß des Elektrometers so orientiren, daß man die Stellung des Nonius über dem getheilten Kreis voraus weiß, bei welcher für jedes Kreuz $\alpha + \beta$ die im Meridian befindliche Nadel einspielt, so daß man den Ablenkungswinkel φ durch einmaliges Ablesen gewinnt.

Das Elektrometer vergleicht, wie wir oben sahen, die ihm mitgetheilten verschiedenen Quantitäten Q und Q' . Sind diese den elektrischen Mengen, denen sie entnommen waren, resp. proportional, so ist das Verhältniß dieser Mengen zugleich mit bestimmt. — Man kann nun dieses Elektrometer benutzen zu den Untersuchungen, welche man mit der Probescheibe oder Probekugel anzustellen pflegt. Doch ziehen sich hier, wie Kohlrausch bemerkt, gewisse Grenzen und das Dollmann'sche Elektrometer wird durch das Sinuselektrometer nicht beseitigt. Auch ist Kohlrausch der Ansicht, daß man, sobald es sich bei Untersuchungen mit der Probescheibe um die Erreichung der äußersten Genauigkeit handelt, der Drehwage (von Rieß) den Vorzug geben muß. Die ferneren Bestimmungen des Sinuselektrometers sind nun nach Kohlrausch folgende. Dasselbe läßt sich benutzen, um unmittelbar mit der Elektrizitätsquelle verbunden zu werden. Zu diesen Verbindungen gebraucht man zweckmäßig einen dicken Draht, welcher in einen Ring endigt, der unter einem Winkel gegen den Draht steht, und hängt diesen Ring auf den Zuleitungsdraht c . So kann das Elektrometer die verschiedenen Ladungen desselben Körpers angeben, wenn es immer wieder auf dieselbe Weise mit ihm verbunden wird, oder auch die Veränderung seiner Ladung zu beobachten gestatten, wenn es mit ihm verbunden bleibt. Eben so können verschiedene constante Elektrizitätsquellen, wie galvanische und zambonische Säulen, durch dasselbe verglichen werden, auch wenn sie ganz verschiedene Gestalt haben; nur ist der zu solchen Prüfungen dienende Verbindungsdraht einige Fuß lang zu nehmen, wo dann der Einfluß der verschiedenen Gestalt der zu prüfenden Körper auf das Innere des Elektrometers durch dessen Construction so gut wie ausgeglichen und die Ladung des beweglichen Kreuzes der elektromotorischen Kraft proportional ist. Derselbe Schluß ist annäherungsweise zulässig auf die Spannung der freien Elektrizität verschiedener elektrischer Batterien (Leidener Flaschen), indem diese annäherungsweise als constante Elektrizitätsquellen zu betrachten sind. Denn wenn auch im ersten Moment der Theil der freien Elektrizität der Batterie, welcher sich dem Elektrometer mittheilt, die elektrische Spannung an deren Oberfläche vermindert, so wird doch augenblicklich dafür ein Theil der vorher gebundenen Elektrizität frei. Ist nun die in das Elektrometer übergeflossene Menge sehr klein gegen die gesammte Quantität in der Batterie, so wird auch nahe die vorige Spannung wieder eintreten. — Noch einen ganz besonderen Gebrauch vor allen anderen Elektrometern läßt das Sinuselektrometer zu. Soll nämlich die Ladung, welche man einem Körper plötzlich mittheilen will, von dem Moment der Mittheilung an beobachtet werden, so wird jedes Elektrometer, welches vorher mit dem Körper verbunden ist, durch die Ladung selbst erst in Bewegung gesetzt, und anfänglich durch seine Oscillationen die Beobachtung verhindern. Weiß man nun irgendwie den Winkel voraus, zu welchem das Sinuselektrometer abgelenkt werden wird, so stellt man den Nonius auf den zu erwartenden Winkel, bringt die Magnetnadel durch einen in der Nähe befindlichen galvanischen Strom zum Einspielen und öffnet die Kette durch irgend einen Mechanismus in dem Moment, in welchem man den Körper mit Elektrizität

ladet. Dann bleibt beim Wechsel dieser ablenkenden Kräfte die Nadel unverrückt stehen und gewährt die Gelegenheit, die Nadel vom ersten Moment an zu beobachten. Ein interessantes Beispiel der Art hat Kohlrausch *) in einer Untersuchung über den elektrischen Rückstand der (Leidener) Batterie mitgetheilt.

Was nun die oben (S. 3 ff.) erwähnte Tabelle betrifft, welche die Verhältniszahlen v enthält, mit denen die Angaben des Instrumentes bei einem Winkel zwischen der Magnetnadel und dem abstoßenden Arm zu multipliciren sind, um mit den bei einem anderen Winkel erhaltenen Angaben verglichen zu werden; so kann dieselbe für zweierlei Zwecke entworfen werden, nämlich erstlich für den Fall, daß die Elektrizitätsquelle, mit welcher das Elektrometer verbunden bleiben soll, constant ist, also eine galvanische Säule oder große Leidener Batterie, zweitens für den Fall, daß man mit der Probeflechte experimentiren will. Die entwickelten Grundsätze passen zwar für beide Fälle, doch werden die Tabellen eine geringe Verschiedenheit zeigen. Eine Verkleinerung des Winkels $\alpha + \beta$ zwischen Nadel und Arm muß aus diesem Kreuze, wenn es geladen ist, einen Theil der Elektrizität nach der Säule a hindrängen, und es ist natürlich nicht gleichgiltig, ob dieser verdrängte Theil nach einer großen Batterie sich ausbreiten kann, oder ob er im Ende des isolirten Zuleitungsdrahtes eine Begrenzung für seine Bewegung findet. — Um für die erste Tabelle eine passende Elektrizitätsquelle zu bekommen, ladet man eine große elektrische Batterie recht stark, läßt die Ladung etwa 20 Minuten darin und entladet dann. Wird jetzt das Elektrometer mit der Batterie verbunden, so zeigt es den nach und nach auftretenden Rückstand, und zwar so, daß man längere Zeit hindurch eine fast ganz constante Spannung der Batterie wahrnimmt. Es ist das die Zeit vor und nach dem Moment, wo das weitere Hervortreten des Rückstandes dem Elektrizitätsverluste durch die Luft und die mangelhafte Isolation gerade das Gleichgewicht hält. Diesen Zeitraum benutzt man, um $\varphi\alpha$ und $\varphi'\alpha + \beta$ zu bestimmen. — Für die Vergleichung der Messungen bei Winkeln $\alpha + \beta$ des Kreuzes, welche größer sind, namentlich einem rechten sich mehr nähern, kann man auf diese Weise die Ladung durch den Rückstand nicht stark genug erhalten, wenn das Moment der Magnetnadel einigermaßen groß ist. In dem Falle benutzt man unmittelbar die Ladung der Batterie, nachdem sie wenigstens 20 Minuten in derselben gestanden und die durch die Bildung des Rückstandes hervorbrachte rasche Abnahme der Spannung aufgehört hat.

Kohlrausch giebt hierzu ein Beispiel. Es sollte der Quotient $\sqrt{\frac{\sin \varphi_{30}}{\sin \varphi'_{40}}}$ bestimmt werden.

Das Elektrometer blieb mit der Batterie verbunden. Der Cylindermantel wurde mit seinem Striche 30 auf den Strich des Randes eingestellt, und nun der Winkel bestimmt, um welchen die Nadel aus dem Meridian abgelenkt wurde, wenn sie einspielte. Dieser betrug $25^\circ 30'$. Darauf wurde der Cylindermantel im Rande verschoben, bis sein Strich 40 eingestellt erschien. Der Winkel, zu welchem das Kreuz 40 die Nadel ablenkte, betrug $17^\circ 54'$. So wurde fortgefahren und jedesmal nach $1\frac{1}{2}$ Minuten abwechselnd gemessen. Die Angabe des Instrumentes bei einem Kreuze wurde verglichen mit den Angaben vorher und

*) Pogg. Ann. Bd. XCI. S. 56. 179.

nachher beim anderen Kreuz; doch genügt es hierbei, die Mittel der Ablenkungswinkel selbst zu nehmen. Es fand sich auf diese Weise:

φ_{20}	φ'_{40}	$\sqrt{\frac{\sin \varphi_{20}}{\sin \varphi'_{40}}}$
25° 30'	17° 54'	1,1813
25 18		1,1829
25	17 40	1,1834
		1,1828
24 38	17 30	1,1814

Mittel 1,1823

In dieser Weise bestimmt man allmählig die einzelnen Verhältniszahlen, nämlich $v = \sqrt{\frac{\sin \varphi_5}{\sin \varphi'_{10}}}$, $v' = \sqrt{\frac{\sin \varphi_{10}}{\sin \varphi'_{20}}}$, $v'' = \sqrt{\frac{\sin \varphi_{20}}{\sin \varphi'_{30}}}$. Dann wird noch $v \cdot v' \cdot v'' = \sqrt{\frac{\sin \varphi_5}{\sin \varphi'_{30}}}$ sein müssen, was man durch directe Messung bestätigt findet.

Bezüglich der anderen Tabelle für den Gebrauch der Probefcheibe kann man eine ähnliche Beobachtungsreihe wie die eben angegebene ausführen, während der Zuleitungsdraht isolirt bleibt, und das Instrument nur einmal geladen ist. Es hält die Elektrizität sehr gut, so daß man eine Reihe von 20 und mehr Messungen hinter einander anstellen kann. Um einen Begriff zu geben, wie weit diese Tabelle von der vorigen etwa abweichen werde, bemerkt Kohlrausch, daß er für sie $\sqrt{\frac{\sin \varphi_{20}}{\sin \varphi'_{40}}} = 1,188$ gefunden habe.

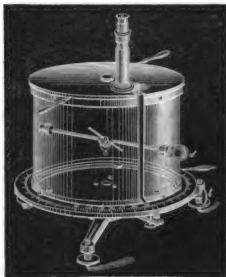
Will man Spannungen vergleichen, welche um mehr als das fünfundzwanzig- oder dreißigfache von einander verschieden sind, so muß man sich verschiedener Magnetnadeln von verschiedenem Moment bedienen. Kohlrausch benutzte außer einer cylindrischen, ganz stählernen Nadel, die von beiden Seiten bis fast auf die Mitte hohl gebohrt ist, auch noch ein möglichst leichtes, an den Enden geschlossenes Messingröhrchen, in welchem nahe bei der Mitte zwei kleine Magnete in gleichem Sinne befestigt sind, oder eine ganz leichte Messingnadel, welche an den Enden vergoldete Hollundermarkkugeln trägt und nur durch die magnetischen Stahlspiegeln gerichtet wird. Jede dieser Nadeln trägt ihre besonderen Spiegeln. Die Angaben solcher Nadeln sind leicht auf einander zu reduciren, indem man sie bei derselben Elektrizitätsquelle mit einander vergleicht. Zu einer solchen kann man sich wieder einer größeren elektrischen Batterie bedienen. Hier ist das gesammte Elektrizitätsquantum so groß gegen den auf das Elektrometer überfließenden Theil, daß man eine Abnahme in der Spannung der Batterie nicht bemerkt, wenn man auch mehrmals hintereinander das Elektrometer mit ihr ladet. Man erzeugt

also einen konstanten Rückstand und prüft die Angaben der verschiedenen Nadeln, indem man vor ihrer Vertauschung die Verbindung zwischen dem Elektrometer und der Batterie aufhebt *).

Der Mechanikus Schubarth in Marburg verfertigt das beschriebene Sinuselektrometer für einen Preis von etwa 30 Thlr.

Ein im Wesentlichen auf demselben Princip beruhendes Sinuselektrometer hat auch Rieß **) konstruirt, das leicht zu handhaben ist und ohne Mühe zur Messung sehr verschiedener Elektrizitätsmengen eingerichtet werden kann.

Die Basis des Elektrometers gleicht der Basis eines Theodoliths, die erforderlichen Falles dazu verwendet werden kann. Eine horizontale Messingscheibe ist an einem kegelförmigen Zapfen in der Hülse eines Dreifüßes drehbar, und wird



mit Hülfe eines Stachels (s. unten beistehende Fig.) bewegt, der je nach dem Bedarfe in eines der drei horizontalen Löcher gesteckt wird, mit welchen der Rand der Scheibe versehen ist. Um die Hülse des Dreifüßes ist ein Ring drehbar, und durch die Schraube b daran zu klemmen, welcher an einem Arme ein über den Limbus greifendes Metallstück trägt, auf dessen schräger Endfläche der Vernier gezeichnet ist. Der Vernier kann daher an eine beliebige Stelle des Limbus gebracht und dort festgestellt werden. Zieht man dann die unter dem Vernier liegende Schraube an, so wird das Vernierstück an die Messingscheibe geklemmt, und hält diese fest. Der Limbus der Scheibe, 6 Zoll $10\frac{1}{2}$ Lin. im Durchmesser, ist in halbe Grade getheilt, die

durch den Vernier in 5 Theile getheilt werden, so daß 3 Minuten bequem zu schätzen sind. Auf die Kreisscheibe ist ein 6 Zoll breiter, $4\frac{1}{4}$ Zoll hoher Glaszylinder gestellt, und durch drei horizontale Schrauben befestigt, die gegen Vorsprünge der Scheibe drücken. Die Mänder des Cylinders sind mit breiten, an den Endflächen abgeschliffenen Messingfassungen versehen. In halber Höhe ist der Cylinder an den Enden eines Durchmessers durch zwei $7\frac{1}{2}$ Lin. breite Löcher durchbohrt, die mit sorgsam gewählten und behandeltem Schellack ausgefüllt sind. Durch den Schellack ist ein gerader, $1\frac{1}{3}$ Lin. dicker Messingdraht geführt, der an einem Ende vor der Glaswand hervorragt und die Kugel d trägt, in der Mitte nach unten ausgeschweift

*) Vergl. a. a. D. S. 514 ff.

**) Pogg. Ann. Bd. XCVI. S. 513.

ist. In der untersten Stelle dieser Biegung, in der Drehungsaxe der Scheibe, ist eine feine vertikale, durch eine Schraube zu adjustirende Stahlspitze eingelassen, auf welche eine magnetische Stahlnadel gesetzt wird. Der Glaszylinder ist mit einer dicken messingenen Platte bedeckt, deren unterer vollkommen eben geschliffener Rand sich auf dem Rande der Fassung des Cylinders mit sanfter Reibung drehen läßt, was durch zwei in gegenüberliegende Löcher der Platte eingestechte Stacheln bewirkt wird. Um die Arc dieser Drehung nahezu in die Drehungsaxe der getheilten Scheibe zu bringen, ist die Deckplatte von unten bis zur Hälfte ihrer Dicke abgedreht, und greift mit dem abgedrehten Theile in die Fassung ein, wo sie durch die abgerundeten Enden dreier horizontaler Schrauben ihre Lage erhält. Nahe am Rande hat die Deckplatte eine, durch ein Planglas verschlossene Oeffnung, über welcher ein, mit einem Fadenkreuz versehenes Mikroskop befestigt ist, das bei dem Gebrauche kaum 3 Zoll über der Deckplatte hervorragt. Die Vergrößerung des Mikroskops ist gering und sein Gesichtsfeld umfaßt eine Schwingung der Nadel von 6 Grad. Am Rande trägt die Deckplatte einen schmalen Messingstreifen, den Randzeiger, der senkrecht nach unten und dann schräg bis nahe zur Theilung der Scheibe gebogen ist, so daß ein auf seiner Endfläche gezeichneter Strich die Verlängerung der Grad-Theilstriche bildet. Die Magnetenadel, welche auf die Stahlspitze aufgesetzt wird, ist in der Mitte kugelförmig mit konischer Höhlung, an den Enden cylindrisch abgedreht; sie ist 38 Lin. lang, $\frac{13}{20}$ Lin. dick, und wiegt, mit dem zu ihrer Horizontalstellung am Südeinde befestigten Wachsklumpen, kaum 1 Gramm. An der oberen Fläche eines ihrer Enden ist ein feiner Längsstrich gezogen, der scharf im Mikroskope gesehen wird. Die Nadel wurde so magnetisirt, daß sie eine Oscillation in 2,16 Secunde machte. Eine zweite Nadel ist $\frac{1}{4}$ Lin. dick und wiegt 0,75 Gramm. Der Preis des Instrumentes, von A. Vertling ausgeführt, beträgt mit beiden Nadeln 40 Thlr.

Man stellt nun zum Behufe der Beobachtung die Kreisscheibe horizontal und dreht sie so, daß die Kugel d vom Beobachter abgewendet, und die ihm zugewandte Hälfte des Messingbalkens rechts vom magnetischen Meridiane liegt. Die Magnetenadel wird auf ihre Spitze, die Deckplatte auf den Cylinder in der Weise gesetzt, daß das dem Beobachter zugewandte Ende der Nadel unter dem Mikroskope liegt. Die Messung kann beginnen, sobald man durch Drehung des Kreises die Nadel unter das Fadenkreuz des Mikroskops gebracht, und den Vernier an einer bequemen Stelle der Theilung festgestellt hat. Die Nadel bildet nämlich mit dem Messingbalken einen Winkel, den Standwinkel, dessen Werth man nicht zu kennen braucht. Durch die der Kugel d mitgetheilte Electricität wird die Nadel vom Balken entfernt, und es kommt darauf an, durch Drehung des Kreises den Standwinkel wieder herzustellen. Um nun dies, ungeachtet der großen Beweglichkeit der Nadel und der Oscillation der letzteren, schneller bewerkstelligen zu können, giebt man bei dem Anfange jeder Oscillation dem Kreise eine schnelle, der Bewegung der Nadel entgegengesetzte Drehung. Wenn das nächste Nadelende dem Beobachter von der Linken zur Rechten schwingt, dreht man den Kreis von rechts nach links, und umgekehrt. Bei den letzten kleinen Oscillationen und behufs der scharfen Einstellung, zu der man sich des Mikroskops bedient, muß natürlich die Bewegung des Kreises mit der des Nadelbildes in gleichem Sinne vollführt werden. Der am Vernier abgelesene Winkel giebt die ausgeführte Drehung des Kreises an, und damit zugleich die Ablenkung der Nadel aus dem Meridiane. Beträgt die Drehung

x Grade, so hat man für die untersuchte Elektricitätsmenge den Ausdruck $q = \sqrt{\sin x}$, wobei eine Elektricitätsmenge als Einheit gilt, die bei dem angewandten Standwinkel die Nadel um 90° aus dem Meridiane ablenken würde.

Soll eine mit einer früheren vergleichbare Messung vorgenommen werden, so muß am Instrumente vor der Elektrisirung der früher gebrauchte Standwinkel wieder hergestellt werden. Beträgt aber die zu messende Elektricitätsmenge einen sehr kleinen Theil der für den Standwinkel geltenden Einheit, so ist die Drehung des Kreises zu klein, um mit genügender Schärfe bestimmt zu werden; ist die Menge der Einheit gleich oder größer, so kann der Standwinkel gar nicht erreicht werden. In beiden Fällen muß man den Standwinkel nach der Elektrisirung verändern, indem man, nach Feststellung der Kreisscheibe, den Standzeiger auf der Theilung nach der einen oder anderen Seite verrückt. Und den Werth dieser Verrückung muß man nach Vollendung der Messung und Entladung des Instruments genau bestimmen, weil er dem Drehungswinkel des Kreises additiv oder subtractiv zugelegt werden muß, um die Ablenkung der Nadel aus dem Meridian zu geben. Je nachdem der Standwinkel vergrößert oder verkleinert worden ist, muß die Verschiebung des Standzeigers addirt oder subtrahirt werden. Sind zwei Elektricitätsmengen bei verschiedenen Standwinkeln gemessen, so liegen ihnen verschiedene Einheiten zu Grunde, nämlich jedem Werthe die Elektricitätsmenge, die bei dem zugehörigen Standwinkel die Nadel winkelrecht gegen den Meridian stellen würde. Um die gefundenen Werthe mit einander vergleichen zu können, muß man das Verhältniß beider Einheiten zu einander kennen, das durch Messung einer beliebigen Elektricitätsmenge unter beiden Standwinkeln erhalten wird. Bezeichnet x_p die für eine Elektricitätsmenge q bei dem Standwinkel p gefundene Drehung des Kreises, x_r die Drehung bei dem Standwinkel r , und e_p und e_r die bezüglichen Einheiten der Elektricitätsmenge, so erscheinen die Proportionen $q : e_p = \sqrt{\sin x_p} : 1$, und $q : e_r = \sqrt{\sin x_r} : 1$, woraus das gesuchte Verhältniß $\frac{e_r}{e_p} = \sqrt{\frac{\sin x_p}{\sin x_r}}$ hervorgeht.

Da jedoch diese Operationen zeitraubend sind und den Gebrauch des Sinuselektrometers unbequem machen würden, so ist es, wie *Nieß* bemerkt, gerathen, sich, wie es *Rohrbausch* gethan, auf den Gebrauch einer Anzahl bestimmter Standwinkel zu beschränken, und für diese ein für allemal eine Reductionstafel zu entwerfen, in welcher die verschiedenen Einheiten durch die kleinste Einheit ausgedrückt sind. Steigen die Standwinkel in der Ordnung p, r, s, t, \dots , so bestimmt man die Verhältnisse $\frac{e_r}{e_p} = v_r, \frac{e_s}{e_p} = v_s, \frac{e_t}{e_p} = v_t, \dots$

Eine solche Tafel gilt für dasselbe Instrument und eine bestimmte Nadel, gleichviel, wie diese magnetisirt sei. Mißt man zu irgend einer Zeit eine Elektricitätsmenge, die bei dem Standwinkel t eine Drehung des Kreises a erfordert, so erhält man ihren Werth in der kleinsten Einheit des Instruments durch Berechnung des Ausdrucks $v_t \sqrt{\sin a}$, und kann jene Menge mit jeder anderen, bei einem anderen Standwinkel gemessenen und eben so berechneten Menge direct vergleichen. Zur Uebersicht giebt *Nieß* die Messungen, die, bequem in zwei Stunden

ausgeführt, ihn in den Stand setzen, für eine Elektricitätsmenge in dem Zeitraume einer Minute einen direct vergleichbaren Werth zu finden. Der Nullpunkt der Theilung seines Instruments liegt etwa 10 Grad zur Linken von der Kugel d, und die Zahlen steigen von links nach rechts durch den ganzen Kreis. Den kleinsten Standwinkel erhielt er, wenn der Standzeiger auf 180°, die steigend größeren, wenn dieser auf 170, 160 u. s. f. bis 110 zeigte. Nieß zeigt diese Stände durch die Ziffern 8, 7, 6 bis 1 an. Als bei dem Stande 8 die Nadel unter dem Fadenkreuz des Mikroskops stand, wurde der Nullpunkt des Verniers auf 180 gestellt, so daß also die hier gemessenen Drehungswinkel von 180° anfangen. Die Anfangspunkte der Winkel bei den übrigen Ständen wurden durch zweimalige Beobachtung ausgemacht, indem der Standzeiger auf die gewählten Stände gerückt, und nach Einstellung der Nadel der Winkel am Vernier abgelesen wurde. Es fand sich bei

Stand 7 der Anfangspunkt	170,2
6	160,4
5	150,55

u. s. f. Diese Zahlen bilden die Tafel für den Standzeiger und geben an, von welchem Punkte die Drehungen des Kreises bei den verschiedenen Ständen zu zählen sind. Zur Aufstellung der Reductionstafel der Messungen wurde das Verhältniß der Elektricitätseinheiten für je zwei auf einander folgende Standwinkel gesucht, indem eine passende Elektricitätsmenge (die bei dem kleineren Standwinkel eine nicht zu geringe Ablenkung der Nadel gab) unter beiden Standwinkeln gemessen wurde. Hierbei gebrauchte Nieß die Methode der alternirenden Bestimmung der Winkel, welche 6 Werthe des gesuchten Verhältnisses lieferte, aus welchen das Mittel genommen wurde. Nieß giebt ein Beispiel. Bezeichnen x_8 und x_7 die bei den Ständen 8 und 7 beobachteten Winkel, um die der Kreis zur Einstellung der Nadel unter das Fadenkreuz gedreht werden muß, so hat man

x_8	x_7	Mittel	$\sqrt{\frac{\sin x_8}{\sin x_7}}$
44°,45	28°,05	43°,87	1,214
43,3	27,5	27,77	1,213
42,7	27,1	43	1,215
		27,3	1,216
41,9	26,6	42,3	1,215
		26,85	1,216

Bezeichnen e_8 und e_7 die Elektricitätseinheiten bei den Ständen 8 und 7,

so hat man $\frac{e_7}{e_8} = \sqrt{\frac{\sin x_8}{\sin x_7}} = 1,215.$

Eben so wurden die Verhältnisse $\frac{e_6}{e_7}, \frac{e_5}{e_6}, \dots$ bis $\frac{e_1}{e_2}$, und ferner, zur

Controle der Messungen, die Verhältnisse der Einheiten von drei Paaren entfernter Standwinkel bestimmt. Diese Controle gab ein sehr befriedigendes Resultat.

So wurde z. B. $\frac{e_4}{e_7} = 1,682$ gefunden; die Multiplication von $\frac{e_4}{e_3} \cdot \frac{e_3}{e_6} \cdot \frac{e_6}{e_7}$

gab 1,6837. Aus den Werthen für die aufeinanderfolgenden Standwinkel wurde die Reductionstafel durch successive Multiplication gebildet. Man hat nämlich

$$v_8 = 1, v_7 = \frac{e_7}{e_8}, v_6 = v_7 \cdot \frac{e_6}{e_7}, v_5 = v_6 \cdot \frac{e_5}{e_6} \dots v_1 = v_2 \cdot \frac{e_1}{e_2}, \text{ und}$$

erhält damit die Elektricitätseinheit für jeden Standwinkel, ausgedrückt in der Einheit des kleinsten Winkels. Die brigg. Logarithmen dieser 8 Werthe bilden die Reductionstafel.

Was die Aufstellung und Vorbereitung des Sinuselektrometers zum Messen betrifft, so hat man nur den Standzeiger auf 180 und, sobald die Nadel durch Drehung des Kreises unter das Fadenkreuz gebracht ist, den Vernier auf 180° zu stellen. Ist der Kreis festgestellt, und die zu messende Elektricität an die Kugel gebracht, so dreht man, falls die Nadel heftig abgestoßen wird, die Deckplatte des Instruments in der Richtung der Abstoßung. Schon die erste Schwingung der Nadel lehrt, auf welchen Punkt man den Standzeiger am passendsten zu stellen habe. Dann löst man die Klemmschraube des Kreises und bringt die Nadel durch Drehung des Kreises unter das Fadenkreuz. Der am Vernier abgelesene Winkel, vermindert um die für den Stand in der ersten Tafel angegebene Zahl, giebt den Drehungswinkel. Sucht man $\log. \sin$ dieses Winkels, und addirt die Hälfte davon zu dem in der zweiten Tafel bei dem gebrauchten Stande verzeichneten Logarithmus, so erhält man den Logarithmus vom Werthe der untersuchten Elektricitätsmenge.

Mit diesem Sinuselektrometer lassen sich Elektricitätsmengen mit einander vergleichen, deren Verhältniß 1 zu 20 nicht übersteigt; die Messung erhält einen größeren Umfang, wenn, bei einer anderen Biegung des Balkens, der erste Standwinkel kleiner genommen werden kann. — Schließlich empfiehlt Nieß *) noch Vorsicht, wenn, kurze Zeit nach einander, Elektricitätsmengen verschiedener Art im Instrumente gemessen werden sollen. Es sei rathsam, mindestens $\frac{1}{4}$ Stunde zwischen den Messungen verschiedenartiger Elektricitätsmengen verfließen zu lassen, oder, falls dies nicht angehe, bei dem Wechsel das Instrument mit der neuen Elektricitätsart zu laden, einige Minuten stehen zu lassen, zu entladen und erst hiernach die zu messende Elektricität darzubieten.

Sirene, s. Ton.

Solstitialpunkte, s. Sonnenwenden.

Sonne, die Weltleuchte nach des Kopernikus Ausdrücke oder das Herz des Universums nach Theon von Smyrna **), ist der Fixstern, um welchen sich die Erde und die übrigen Planeten nebst ihren Trabanten, eben so Kometen in unbestimmter Zahl bewegen, von welchem ihnen Licht und Wärme gesendet wird und in welchem, wenn wir von der Erde analog weiter schließen, die Ursache so mancher anderen Erscheinungen, wie elektro-magnetischer, vitaler und dergleichen zu suchen ist. Die Alten verehrten die Sonne als Bild der Gottheit oder als Gottheit selbst. Osiris in Aegypten, Baal in Chaldäa, Adonis in Phönizien, Mithra

*) a. a. O. S. 321 ff.

**) Vergl. v. Humboldt, Kosmos. Bd. III. S. 378. Arago's sämtliche Werke, deutsch von Hankel. Bd. XII. S. 46.

in Persien, Apollon in Griechenland, bei den Römern Sol genannt, sind Namen der als Gottheit verehrten Sonne.

Die scheinbare Bewegung für die wahre nehmend, hielten die alten Astronomen die Sonne für einen Planeten und die Erde für einen feststehenden (fixen) Weltkörper. Das Nähere hierüber findet sich in dem Artikel Planeten, Bd. V. S. 327 *) und in dem Art. Erde, Bd. II. S. 901.

Die Sonne steht in dem Brennpunkte der dieselbe in elliptischen Bahnen umkreisenden Planeten und Kometen; ihr Abstand von der Erde ist also, und das gilt auch für die übrigen Körper des Sonnensystems, zu verschiedenen Zeiten verschieden und deshalb auch ihr scheinbarer Durchmesser nicht immer derselbe. Die mittlere Entfernung des Mittelpunktes der Sonne von der Erde ist nach Encke 20682000 geogr. Meilen und ihr scheinbarer Durchmesser beträgt dann $32' 1''{,}8$; in dem Perihel, also in der Sonnennähe oder zur Zeit des Winters der nördlichen Erdhälfte, ist der scheinbare Durchmesser $32' 34''{,}6$, in dem Aphel, also in der Sonnenferne oder zur Zeit des Sommers der nördlichen Erdhälfte, hingegen $31' 30''{,}1$. Der wahre Durchmesser ergibt sich hieraus zu 192700 geogr. Meilen, so daß derselbe über 112 mal größer ist, als der der Erde. Wie die Messungen des scheinbaren Durchmessers zu Stande gebracht werden, darüber ist der Artikel Mikrometer, Bd. IV. S. 1032 zu vergleichen. Ihr Umfang beträgt über $60\frac{1}{2}$ Millionen Meilen, während auf den der Erde nur 5400 kommen. Mehr als 1300000 Kugeln, wie unsere Erde, müßte man um einander legen, um einen Körper zu erhalten, welcher der Sonne an Umfang gleichkommen würde. Denken wir uns eine hohle Kugel von der Größe der Sonne, in ihrem Centrum die Erde und um diese den Mond in einer Entfernung von 50000 Meilen sich bewegend, so würde hierzu nicht nur vollständig Raum sein, sondern es würde die Bahn des Mondes von der Oberfläche noch beinahe eben so weit abliegen, als dieselbe von dem Mittelpunkte entfernt steht.

Die Masse der Sonne ist nach Encke das 359551 fache der Erdmasse oder das 355499 fache von Erde und Mond zusammen; sie ist sogar nach Galle 738 mal größer, als die aller Planeten des Sonnensystems zusammen. Die Dichte der Sonne (vergl. Art. Dichte, Bd. II. S. 479) ergibt sich hieraus ungefähr gleich $\frac{1}{4}$ oder genauer 0,252 der Dichte der Erde. Hierbei ist indessen zu bemerken, daß dies nur unter der Annahme gilt, daß die Sonnenmasse durchaus gleichmäßig vertheilt wäre, was jedoch bei ihr eben so wenig der Fall sein wird, wie bei der Erde.

Da die Schwere, wie sie auf jedem einzelnen Weltkörper auftritt, von der Masse desselben abhängt, so muß sie bei der Sonne sehr bedeutend sein. In Folge der Schwerkraft (vergl. Art. Fall der Körper, Bd. III. S. 7) fallen die Körper auf der Erde in der ersten Secunde des Falles durch etwa 15 Par. Fuß, auf der Sonne würde dieser Fallraum 430 F. betragen, also etwa 29 Mal mehr als auf der Erde. Da nun das Gewicht der Körper von diesem Fallraume bedingt ist, dasselbe nämlich 2 g M beträgt, wenn M die Masse des Körpers und g den Fallraum in der ersten Secunde bedeutet, so wiegt ein Körper auf der Ober-

*) Vergl. auch Art. Erde, Bd. II. S. 927 Anmerk. ***, wo die Ansicht des Pythagoras angeführt ist.

fläche der Sonne 29 mal mehr, als auf der Erde, d. h. ein auf der Erde 100 Pfund wiegender Körper würde auf der Sonne ein Gewicht von 2900 Pfund haben (s. d. Art. *Schwere*).

Um von der Sonne zur Erde zu kommen, d. h. den Halbmesser der Erdbahn zu durchlaufen, braucht das Licht nach *Struve* *) $8' 17'', 78$.

Auf dem Monde, eben so auf der Venus, erkennen wir deutlich Berge und Thäler; auf der Sonne entdecken wir aber auch mit den besten Fernröhren nichts derartiges, sondern sie erscheint als eine freistunde ebene Scheibe. Häufig bemerkt man indessen, wenn man die Oberfläche der Sonne mit einem Fernrohre durchmustert, welches zum Schutze des Auges mit einem rothen oder grünen Planglase versehen ist — *Scheiner* scheint zuerst 1611 von gefärbten Gläsern Gebrauch gemacht zu haben — größere oder kleinere, meist sehr unregelmäßige dunkelschwarze Flecken mit einem aschfarbenen Rande. Diese Flecken verändern bei fortgesetzter Beobachtung meistens ihre Gestalt und selbst ihren Ort auf der Sonne. Beobachtet man einen Flecken am östlichen Rande der Sonne, so bemerkt man, daß er allmählig sich dem Mittelpunkte nähert, denselben etwa nach sieben Tagen erreicht, dann westwärts weiter rückend nach ungefähr wieder sieben Tagen am westlichen Rande verschwindet. Nach einer Zeit von etwa vierzehn Tagen zeigt sich in der Regel ein neuer Flecken an derselben Stelle des Ostrandes, dessen Wanderung über die Sonne hinweg der vorher beschriebenen gleicht. Verfolgt man einen solchen Flecken von Stunde zu Stunde, so bemerkt man an ihm fortwährende Veränderungen, indem er bald größer, bald kleiner wird, oder sich theilt und dann wieder zusammenfließt, bisweilen gänzlich verschwindet. Im letzteren Falle nimmt zuerst das dunkle Innere des Fleckens an Größe ab, der aschfarbige Rand verschwindet zuletzt. Erschien der Flecken, als er auf der Mitte der Sonnenscheibe stand, ziemlich rund, so war er in der Nähe der beiden Ränder gewöhnlich einem Streifen gleichgestaltet von einer dem Durchmesser gleichen Länge, aber viel geringeren Breite. Bestimmt man das Fortrücken eines Fleckens von 24 zu 24 Stunden genauer, so findet man, daß die in gleichen Zeiten zurückgelegten Strecken immer größer werden, je näher der Flecken von dem Ostrande zur Mitte rückt, und daß dieselben eben so wieder abnehmen, je weiter derselbe von der Mitte zu dem Westrande fortschreitet. Trägt man die Bahnen der Flecken in einen Kreis ein, welcher die Sonnenscheibe vorstellen soll, so erhält man im Allgemeinen gekrümmte Linien, ähnlich den Breitenkreisen auf der stereometrischen Zeichnung eines Planiglobes, und zwar liegt 6 Monate lang die convexe Seite dieser Linien auf der Sonnenscheibe aufwärts, dann 6 Monate lang abwärts, während in den Zwischenzeiten die Krümmung ganz verschwindet. Bisweilen hat man denselben Flecken Wochen lang verfolgen können und ihn bei seinem Wiedererscheinen auf der Ostseite entschieden als den vor etwa 14 Tagen auf der Westseite verschwundenen erkannt.

Der ganze Anblick dieser Erscheinung scheint auf einen flüssigen Zustand der Oberfläche der Sonne und auf sehr heftige Bewegungen, die auf ihr vorgehen, hinzudeuten. Körper, wie unsere Wolken, die von den Winden nach allen Richtungen und mit verschiedener Geschwindigkeit getrieben werden, können diese Flecken

*) *Schumacher's astr. Nachr.* 1844. Bd. XXI. Nr. 484.

nicht sein, da sie einer bestimmten Richtung folgen und auch ihre Geschwindigkeit gesetzmäßig sich verhält; eben so wenig kann man in ihnen eigene Himmelskörper, welche die Sonne in größter Nähe umkreisen, annehmen, da sie dann am Rande der Sonne nicht schmaler, als in der Mitte der Sonnenscheibe erscheinen könnten, sie müßten denn von der sonstigen Gestalt der Himmelskörper ganz abweichen und nicht kugelförmig, sondern scheibenartig sein und zwar so, daß die Scheibenfläche eine zur Sonnentafel tangentialen Richtung hätte. Die Flecken müssen also mit der Oberfläche der Sonne in Zusammenhange stehen, in derselben sich befinden, und ihre Bewegung von Osten gen Westen um die Sonne herum kann nur von einer rotirenden Bewegung der Sonne selbst herrühren. Unter dieser Annahme erklärt sich das Fortrücken der Flecken, ihr Verschwinden im Westen und ihr Wiedererscheinen im Osten nicht nur, sondern auch ihre größere Geschwindigkeit in der Nähe des Mittelpunktes der Sonnenscheibe, desgleichen ihr verschiedenes Ansehen, namentlich ihr Schmalwerden in der Nähe des Sonnenrandes, ganz befriedigend, wenn wir die Sonne, wie keinem Zweifel unterliegt, als Kugel voraussetzen. Klebt man ein rundes Stückchen Papier auf einen Globus und betrachtet dessen Aussehen und Fortschreiten aus einiger Entfernung, während eine andere Person den Globus möglichst gleichförmig auf der dem Beobachter zugewendeten Seite von Osten nach Westen herumdreht, so wird man die größte Uebereinstimmung mit der Bewegung der Sonnenflecken finden, auch ihre gekrümmte Bahn beobachten können.

Diese Flecken, welche also für eine Rotation der Sonne sprechen, sind zuweilen ungemein groß. Tobias Mayer sah am 15. März 1758 einen solchen Flecken, der nach seinen Beobachtungen den zwanzigsten Theil des Sonnendurchmessers, also $1' 30''$, d. h. mehr als das Fünffache des Erddurchmessers von der Sonne aus gesehen, betrug. Schröter erwähnt *) einen Sonnenfleck, der die Erdoberfläche sechzehnmal an Größe übertroffen haben soll, also unter einem Winkel von $4' 35''$ erschienen sein mußte. Der ältere Herschel sah 1779 mit unbewaffnetem Auge einen Sonnenfleck. Derselbe bestand aus mehreren Theilen, von denen der größere unter einem Winkel von $1' 8''$ erschien **). Der ganze Flecken hielt $4' 30''$ im Durchmesser; der wahre Durchmesser betrug also 27000 Meilen, war mithin funfzehn mal größer als der Durchmesser der Erde, und seine Oberfläche nahm über 730 Millionen Quadratmeilen ein. Wenn ein solcher Flecken in Zeit von drei Wochen verschwinden soll, so müssen die Ränder desselben täglich einen Weg von 1400, und in jeder Stunde einen Weg von 58 Meilen zurücklegen. Dies würde die Geschwindigkeit unserer heftigsten Stürme mehr als achtmal übertreffen und also auf ungeheure Revolutionen auf der Oberfläche der Sonne hindeuten, wenn diese Bewegung unabhängig von der Rotation der Sonne erfolgen sollte. Bedenken wir, daß schon vor der Erfindung der Fernröhre öfter mit bloßen Augen Sonnenflecken sichtbar gewesen sind, — wenigstens muß man annehmen, daß Erscheinungen, wie sie Abu'l-Farag mittheilt, daß nämlich 536 das Licht der Sonne 14 Tage lang verdunkelt war, und daß i. J. 626 die Hälfte der Sonnenscheibe acht Monate lang ganz schwarz erschien, Sonnenflecken zuzuschreiben sein möchten, — so nehmen diese Flecken öfters wohl einen

*) Beobachtungen über die Sonnensackeln und Sonnenflecken etc. Erfurt 1789.

**) Philos. Transact. for 1795. p. 49.

noch größeren Raum ein. A. v. Humboldt führt 17 Beispiele von Nachrichten über plötzlich eintretende Tageshelle an, von denen viele hierher gehören *). Im Jahre 807 erschien ein Sonnenfleck, den man irrtümlicher Weise für den Merkur hielt. 1096 am 3. März waren entschiedene Sonnenflecken sichtbar **).

Heinrich Schwabe in Dessau hat sich seit 1826 speciell mit den Sonnenflecken beschäftigt und zu diesem Behufe tägliche Beobachtungen angestellt. Wir geben dieselben nach der deutschen Bearbeitung von Arago's Astronomie ***), wo die Reihe bis 1854 reicht, während in v. Humboldt's Kosmos, Bd. III. S. 402, dieselbe mit 1850 abschließt.

Jahr der Beobachtung	Anzahl der Beobachtungstage	Anzahl der Fleckengruppen	Anzahl der fleckenfreien Tage
1826	277	118	22
1827	273	161	2
1828	282	225	0
1829	244	199	0
1830	217	190	1
1831	239	149	3
1832	270	84	49
1833	267	33	139
1834	273	51	120
1835	244	173	18
1836	200	272	0
1837	168	333	0
1838	202	282	0
1839	205	162	0
1840	263	152	3
1841	283	102	15
1842	307	68	64
1843	312	34	149
1844	321	52	111
1845	332	114	29
1846	314	157	1
1847	276	257	0
1848	278	330	0
1849	285	238	0
1850	308	186	2
1851	308	151	0
1852	337	125	2
1853	299	91	4
1854	334	67	65

*) Kosmos, Bd. III. S. 413.

**) Kosmos, Bd. III. S. 392.

***) Arago's sämtliche Werke, Bd. XII. S. 108.

In den Jahren 1828, 1837, 1848 erschienen hiernach die Fleckengruppen im Maximum, 1833 und 1843 im Minimum. Es scheint das Auftreten von Fleckengruppen an eine gewisse Periodicität geknüpft zu sein, indem ihre Anzahl 5 bis 6 Jahre hindurch zunimmt, um dann während eines nahezu gleichen Zeitraums allmählig wieder abzunehmen. Zwischen einem Maximum und darauf folgendem Minimum scheinen 10 bis 12 Jahre zu liegen. Die Anzahl der fleckenfreien Tage ist in den Jahren, welche um ein Maximum herum liegen, nach Schwabe Null, während sie zu den Zeiten der Minima über 100 steigt.

Nach Lamont und Wolf findet zwischen den Sonnenflecken und der magnetischen Declinations-Variation eine inhaltreiche Beziehung statt. Wegen des Näheren ist Art. Magnetismus der Erde, Bd. IV. S. 825 zu vergleichen; eben so erinnern wir hier an denselben Artikel S. 838. Eine Vermehrung der Anzahl der Sonnenflecken ist mit einer Zunahme in der Größe der magnetischen Schwankungen verbunden.

Den geschichtlichen Nachweis über die erste Entdeckung der Sonnenflecken liefert A. v. Humboldt*) ausführlich. Danach gebührt die Ehre dem Ostfriesen Johann Fabricius, welcher dem Galilei in der Veröffentlichung der Entdeckung zuvor gekommen ist**). Scheiner gehört auch zu den ersten und hat namentlich anhaltend sich mit der Beobachtung der Sonnenflecken beschäftigt, kam auch mit Galilei über die Priorität der Entdeckung in Streit; seine Ansprüche sind indessen nicht begründet. Die Beobachtung machte zuerst Fabricius in der Art, daß er die Strahlen der Sonne durch ein kleines Loch in ein dunkles Zimmer fallen ließ und das Bild auf einem weißen Papiere auffing; Scheiner beobachtete direct durch lichtschwächende Gläser.

Was die Sonnenflecken seien, darüber waren die Astronomen anfangs getheilter Meinung. Zuerst glaubte man, daß es opake Auswürfe, gleichsam Schlacke oder Sonnenvulkane wären. Daß sie dem Sonnenkörper selbst angehören, war schon Fabricius und Galilei klar, und letzterer namentlich hielt sie für Wolken. Dessenungeachtet tauchte die Ansicht auf, die Flecken seien dunkle Planeten, die sich nur in geringeren Entfernungen als der Merkur um die Sonne bewegten, und in den Flecken beobachte man ihre Sonnendurchgänge. Der Astronom Jean Lave, Canonikus von Sarlat, nannte sie sidera borbonia oder lunas borbonicas, Maupertuis sidera austriaca, weil sie Scheiner, ein österreichischer Jesuit, entdeckt habe. Andere meinten, daß das die Sonne bedeckende Lichtmeer einer Art von Ebbe und Fluth unterworfen sei, durch welche zuweilen die unteren Gegenden, Theile des Meeresbodens, oder sonst bedeckte Berge bloßgelegt würden. Cassini, nicht Lalande, hat sich zuerst darüber bestimmt geäußert, daß man die von einer Lichthülle (Photosphäre) umgebene Sonnenkugel als dunkel annehmen müsse***). Aus gewaltsamen Bewegungen in der Lichthülle, durch welche von Zeit zu Zeit die Berggipfel des dunklen Sonnenkörpers hindurchblickten, erklärte er die schwarzen Kerne der Sonnenflecken; woher

*) Kosmos, Bd. II. S. 360.

**) Joh. Fabricii Phrysi de maculis in Sole observatis et apparente earum cum Sole conversione Narratio, et dubitatio de modo eductionis specierum visibilium. Wittembergae 1611.

***) Kosmos, Bd. III. S. 385 u. 410.

der aschfarbene Rand kam, konnte nicht nachgewiesen werden. Der Glasgower Astronom Alexander Wilson leitete 1769 auch auf die Erklärung des minder dunklen Randes, des Hofes der Sonnenflecken, indem er entdeckte, daß, so wie ein Flecken sich gegen den Sonnentand hinbewegt, der Hof nach der gegen das Centrum der Sonne gekehrten Seite in Vergleich mit der entgegengesetzten Seite allmählig schmaler und schmaler wird. Hieraus schloß er, daß der Kern des Fleckens tiefer liegen müsse als der Hof, daß eine trichterförmige Vertiefung vorhanden sei, deren tiefste Stelle den Kern und deren schräge Seitewände den Hof bildeten. Es blieb nun bloß noch zu erklären, warum die Höfe nahe bei dem Kerne am lichtesten seien.

Der Berliner Astronom Bode hatte eine ähnliche Ansicht, wie Wilson, nahm aber zwischen der Lichthülle und dem dunklen Sonnenkörper noch eine wolkige Dunstschicht an *). Hiernach äußerte sich Bode in folgender Weise: Entsteht in weniger häufigen Fällen in der Photosphäre allein eine Oeffnung und nicht zugleich in der trüberen unteren, von der Photosphäre sparsam erleuchteten Dunstschicht; so reflectirt diese ein sehr-gemäßigtes Licht gegen den Erdbewohner und es entsteht eine graue Penumbra, ein bloßer Hof ohne Kern. Erstreckt sich aber, bei stürmischen meteorologischen Processen an der Oberfläche des Sonnenkörpers, die Oeffnung durch beide Schichten (durch die Licht- und Wolkenhülle) zugleich; so erscheint in der aschfarbigen Penumbra ein Kernfleck, welcher mehr oder weniger Schwärze zeigt, je nachdem die Oeffnung in der Oberfläche des Sonnenkörpers sandiges oder felsiges Erdreich, oder Meere trifft. Der Hof, welcher den Kern umgiebt, ist ein Theil der äußeren Oberfläche der Dunstschicht.

William Herschel **) ging noch einen Schritt weiter, indem er zwischen der Dunsthülle und dem dunklen Sonnenkörper noch eine helle Luft-Atmosphäre setzt, in welcher die dunklen oder wenigstens nur durch Reflex schwach erleuchteten Wolken etwa 70 bis 80 geogr. Meilen hoch hängen.

Mit Hülfe der folgenden drei Abbildungen wird die Entstehung der Sonnenflecken noch anschaulicher werden. S sei der dunkle Sonnenkörper; a b eine Atmosphäre, welche der irdischen ähnlich sei, sobald sich in dieser eine zusammenhängende Schicht undurchsichtiger und das Licht reflectirender Wolken befindet, und die den Körper S in einer gewissen Entfernung umgebe; c d sei die Photosphäre, von der inneren wolkigen Atmosphäre mehr oder weniger entfernt. Bilden sich in den beiden concentrischen Atmosphären correspondirende Oeffnungen oder Durchsichten, welche den dunklen Kern des Sonnenkörpers unverhüllt zu sehen gestatten, so treten von der Erde T aus gesehen auf der Sonne schwarze Flecken auf. Nehmen wir an, die Oeffnung der Photosphäre auf der Mitte der Sonne sei, wie in vorstehender Fig. I., kleiner als die Oeffnung in der dahinterliegenden das Licht zurückstrahlenden Atmosphäre, so erblicken wir einen schwarzen Flecken ohne Halbschatten, nämlich nur ein Stück des dunklen Sonnenkörpers. Nehmen wir die Oeffnung in der Photosphäre breiter als die correspondirende Oeffnung der wolkigen Umhüllung an, wie in Fig. II., so erscheint ein Flecken mit Kern und Halbschatten, indem das Auge nicht allein den inneren Kern der Sonne, son-

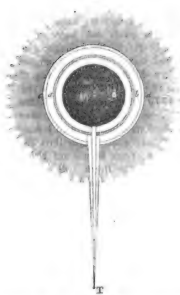
*) Beschäftigungen der Berlinsch. Gesellsch. Naturforsch. Freunde. Br. II. S. 1776.
v. Humboldt's Kosmos, Bd. III. S. 384.

**) Phil. Trans. for 1795 u. 1801.

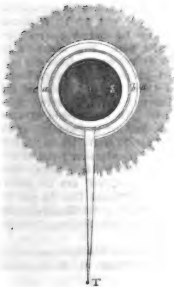
I.



II.



III.



bern noch um diesen Kern einen Theil der nicht selbstleuchtenden Atmosphäre erblickt. Sollte endlich, wie in Fig. III., zufällig eine Oeffnung in der Photosphäre allein eintreten, so würde ein Flecken ohne schwarzen Kern nur aus Halbschatten entstehen.

Wenn diese Flecken in der That mit der Oberfläche der Sonne auf irgend eine Weise, wenigstens auf einige Zeit, in fester Verbindung stehen, so kann man sich ihrer als eines Mittels bedienen, die Umdrehung der Sonne um ihre Axe und zugleich die Lage dieser Axe im Weltraume zu bestimmen. Auch hat man diesen Versuch sehr bald nach der Entdeckung der Sonnenflecken gemacht. Die Sonne war sogar unter allen Himmelskörpern der erste, dessen Rotation man auf diese Weise erkannt und bestimmt hat. Ueber die Rotationen und ihre Zeiten bei den Planeten vergl. Art. Planeten, Bd. V. S. 350 ff. Man bemerkte

bald, daß die Wege, welche diese Flecken auf der Sonnenscheibe beschreiben, wie bereits oben angeführt ist, in verschiedenen Jahreszeiten auch eine verschiedene Gestalt und Krümmung haben. Nur um den 8. Juni und 9. December beschreiben die Flecken gerade und unter sich parallele Linien auf der Sonnenscheibe; im August ist die stärkste Krümmung nach oben und im Februar nach unten. Da man nun fand, daß die Zeit zwischen zwei nächsten Durchgängen der Flecken durch denselben östlichen oder westlichen Rand der Sonne nahe 27 Tage beträgt, — Schwabe hat z. B. dieselbe Gruppe im Jahre 1840 acht mal verfolgen können, und 1779 kehrte ein großer Flecken sechs Monate lang hinter einander immer wieder, — so hatte man daran schon einen Anhalt, die Rotationszeit der Sonne wenigstens im Allgemeinen zu bestimmen. Dreht sich nämlich die Sonne um eine Ase, so müssen alle Punkte ihrer Oberfläche, also auch die Sonnenflecken, Kreise beschreiben, deren Ebenen auf dieser Ase senkrecht stehen und deren Mittelpunkte alle in dieser Ase liegen. Von diesen Kreisen wird derjenige, welcher durch den Mittelpunkt der Sonnenkugel geht, der größte sein und analog mit der Erde Aequator, also Sonnenäquator genannt werden müssen. In gleichem Abstände von diesem, in den Endpunkten der Ase, liegen die Pole der Sonne. Diese Kreise werden dem Beobachter auf der Erde unter verschiedenen Gestalten erscheinen: 1) als gerade Linien, wenn die Ebene des Sonnenäquators mit der Ekliptik zusammenfällt; 2) als vollständige Kreise, wenn der Beobachter in der Richtung der Sonnenaxe steht, also der Sonnenäquator gegen die Ekliptik unter einem Winkel von 90 Grad geneigt ist; 3) als Ellipsen, wenn wir den Sonnenäquator schief sehen, also die Neigung desselben gegen die Ekliptik zwischen 0 und 90° liegt. Im Allgemeinen erscheinen von der Erde aus die Bahnen der Sonnenflecken als Ellipsen; da aber die Erde auf ihrer Bahn fortschreitet, so kann die Lage der angegebenen Sonnenfleckenbahnen oder die Lage des Sonnenäquators gegen unser Auge eine veränderliche sein, und daraus wird sich die verschiedene Lage der Krümmung erklären, selbst wenn die Lage des Sonnenäquators gegen die feste Ekliptik ebenfalls fest und unveränderlich wäre. Liegt namentlich die Ebene des Sonnenäquators gegen die Ebene der Ekliptik geneigt, fallen also beide nicht zusammen, so wird die Erde, während ihres jährlichen Laufes um die Sonne, ein halbes Jahr über und eben so lange unter diesem Aequator stehen und nur zwei Augenblicke im Jahre in der Ebene des Aequators selbst sich befinden. Hiermit stimmen die Erscheinungen vollständig überein. Die beiden letzten Momente treffen, wie bereits angeführt wurde, auf den 8. Juni und 9. December, wo die Länge der Erde, von der Sonne gesehen, 255 und 75 Grade beträgt, folglich muß die durch die Sonne gehende Knotenlinie des Sonnenäquators (vergl. Artikel Knoten, Bd. IV. S. 283) mit der Ekliptik auch dieselbe Länge haben. Aus dieser Durchschnittslinie des Sonnenäquators und der Ekliptik und der größten Krümmung der Sonnenfleckenbahnen im Februar und August läßt sich nun die Neigung der beiden Ebenen zu einander und somit die Lage des Sonnenäquators im Weltraume vollkommen bestimmen. Es beträgt diese Neigung 7° 9' bis 7° 30' *).

Wenn die Zeit zwischen zwei auf einander folgenden Durchgängen desselben Fleckens durch denselben Sonnenrand etwa 27 Tage beträgt, so ist dies keines-

*) Compt. rend. 1842. T. XV. pag. 941.

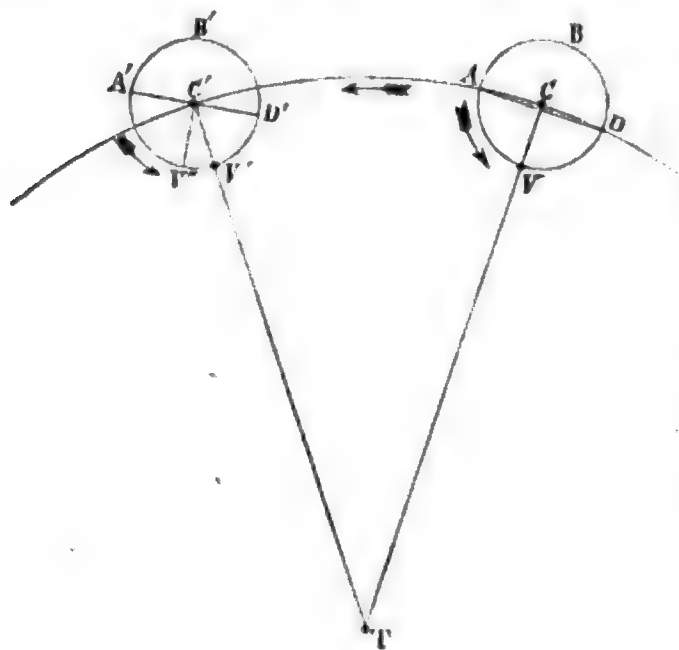
wegß die Rotationszeit der Sonne, selbst wenn wir annehmen, daß der Flecken keine eigene Bewegung gehabt habe. Scheiner setzte die scheinbare Rotation zwischen 26 und 27 Tage fest, während dieselbe nach neueren Beobachtungen $27\frac{1}{2}$ Tag beträgt. Da nun die Erde in 27 Tagen auf ihrer Bahn auch nahe 27 Grade zurücklegt, so muß der Flecken in 27 Tagen nicht bloß den ganzen Umfang der Sonnenkugel, also nicht bloß 360 Grade, sondern noch 27 Grade mehr zurücklegen, um das nächste Mal an demselben Rande zu erscheinen. Man würde also für die wahre Rotationszeit der Sonne x die Proportion erhalten:

$$(360 + 27)^{\circ} : 360^{\circ} = 27 \text{ Tage} : x \text{ Tage},$$

woraus $x = 25,12$ Tage sich ergibt.

Man denke sich die Erde in T, den Mittelpunkt der Sonne in C, A B D V A sei ihr Umfang. Die Sonne macht, in Folge des Fortschreitens der Erde auf ihrer Bahn, in Bezug auf die

Erde eine scheinbare Bewegung in einer elliptischen Bahn von Rechts nach Links. Nehmen wir an, ein Sonnenfleck sei in der nach dem Mittelpunkte laufenden Richtung T V C in V beobachtet worden; dann wird derselbe Beobachter nach 27 Tagen den Sonnenfleck zum zweiten Male in der Richtung nach dem Mittelpunkte der Sonne, d. h. in der Richtung T V' C', also in V' sehen, wenn in dieser Zeit die Sonne bis C' fortgerückt ist. Dann war jedoch die Rotation der Sonne bereits vollendet und zwar in



dem Augenblicke, in welchem der Durchmesser AD in die zu AD parallele Lage A' D' gekommen war. Der Punkt V, wenn er unveränderlich an derselben Stelle geblieben wäre und keine eigene Bewegung gehabt hätte, würde also in V'' liegen. Die Gesichtslinie T V' C' trifft aber nicht nach V'', sondern nach V', d. h. westlich von V''. Folglich ist die Zeit einer wahren Umdrehung kürzer als die der scheinbaren und zwar um so viel, als der Flecken Zeit braucht, um auf der Sonnenoberfläche den Bogen V'' V' zu durchlaufen, was ungefähr 2 Tage beträgt.

Wegen der Eigenbewegung, welche manche Sonnenflecken jedenfalls haben, fällt die Bestimmung der Rotationszeit der Sonne verschieden aus, da man die Größe der Eigenbewegung der Flecken nicht ermitteln kann. Nach Laugier's Beobachtungen an 29 verschiedenen Flecken beträgt der kleinste Werth einer einzelnen Rotation 24,28 Tage während der größte auf 26,23 Tage stieg. Aus allen seinen Beobachtungen würde für die Rotationszeit der mittlere Werth von 25,34 Tagen sich ergeben. Nach Schwabe ist das Minimum 25,07 und das Maximum 25,75 Tage und die Umdrehungszeit setzt er auf 25,507 mittlere

Lage *). Die Angaben von Petersen stimmen hiermit ausreichend überein. In Betreff der Länge des aufsteigenden Knotens des Sonnenäquators auf der Ekliptik scheint eine Zunahme stattzufinden **).

Die Sonnenflecken zeigen sich nicht über die ganze Sonnenfläche vertheilt, sondern im Allgemeinen in einer Zone, welche zu beiden Seiten des Sonnenäquators bis zu 35° der Breite geht; am häufigsten sieht man sie zwischen 11° und 15° nördlich von dem Aequator; überhaupt zeigt die nördliche Sonnenhalbkugel deren mehr als die südliche. Einzelne Flecken hat Laugier bis 41° und Schwabe bis 50° gefunden; La Hire beobachtete sogar einen Flecken unter 70° nördl. Breite. John Herschel vermuthet den Grund in Störungen, welche denen ähnlich sind, die auf der Erde die Passatwinde erzeugen.

Außer den Flecken ist die Oberfläche der Sonne beständig mit unzähligen, nach allen Richtungen gehenden, leuchtenden Furchen überzogen, welche man Lichtadern nennt. Herschel vergleicht deshalb die Sonnenoberfläche mit der Schale einer Orange. Es scheinen diesen Adern sehr kleine Flecken zu Grunde zu liegen. Arago ***) giebt eine Erklärung in folgender Weise: Das Bild eines Sternes oder eines beliebigen sehr kleinen leuchtenden Punktes erscheint in einem Fernrohre oder Spiegelteleskope von kleiner Oeffnung mit einer zahlreichen Reihe von Ringen umgeben. Geben die den Lichtadern zu Grunde liegenden Flecken ebenfalls Ringbilder und lagern sich diese Ringe bei ihrer Verschmelzung über einander, so wird ein gleichförmiger Glanz auch an den Stellen entstehen, wo außerdem abgesonderte Lichtpunkte bemerkbar sein würden.

Unabhängig von den Sonnenflecken bemerkt man auf der Sonnenscheibe mitunter Flecken, welche sich durch ihr intensiveres Licht vor den übrigen Theilen der Sonnenscheibe auszeichnen und Sonnenfackeln genannt werden. In ihrer Bewegung über die Sonnenscheibe hinweg in der Richtung von Osten nach Westen verhalten sie sich ganz wie die Sonnenflecken. Schon Galilei nahm dergleichen Fackeln wahr; Huyghens wollte ihre selbstständige Existenz nicht zugeben, sondern erklärte dieselben als eine Folge des Contrastes mit den in der Nähe gelegenen dunklen Stellen. Da man indessen Sonnenfackeln thatsächlich ganz selbstständig beobachtet hat, so ist ihre Realität nicht zu bezweifeln. Nach Cassini zeigen sich dieselben in der Regel da, wo vorher Flecken sichtbar waren, eben so hat derselbe Flecken sich zu einer Fackel umgestalten sehen, aus der dann wieder ein Flecken wurde. Die am Rande auftretenden Sonnenfackeln verschwinden gewöhnlich, wenn sie bis zum Mittelpunkte der Sonnenscheibe fortgeschritten sind. Arago erklärt die Sonnenfackeln daraus, daß die Fläche einer leuchtenden Gasmasse von begrenzter Ausdehnung heller strahlt, wenn man sie unter einem schiefen Winkel sieht, als bei senkrechter Ansicht ****). Wenn folglich auf der Oberfläche der Sonne Undulationen entstehen analog denen, welche unsere Atmosphäre bei der Bildung der Wolken zeigt, die wir Schäfchen nennen, so müssen diejenigen Stellen jener Undulationen, welche von dem Beobachter senkrecht gesehen werden,

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 168.

**) Schumacher's astronom. Nachr. Bd. XVIII. von Petersen 73° , desgl. Bd. XXXII. von Wichmann 84° .

***) Sämmtliche Werke. Bd. XII. S. 122. Deutsche Bearb.

****) Arago a. O. Bd. XII. S. 96.

vergleichungsweise schwächer erscheinen, während die gegen die Gesichtslinie geneigten Stellen heller glänzen; jede conische Vertiefung muß den Anblick einer Sonnensackel darbieten. Früher nahm man an, daß sich auf der Sonnenscheibe Tausende von Lichtquellen befänden, welche stärker leuchten, als die übrigen Theile der Oberfläche, oder daß eine Anhäufung von Lichtmaterie eine Steigerung des Lichtes hervorrufe. Mit den Lichtadern könnte es sich nun ebenso verhalten. Schwabe ist überzeugt, daß Fackeln und Marken oder Adern aus demselben geballten Lichtgewölke herrühren, welches am Sonnenrande lichtvoller hervortritt, in der Mitte der Sonnenscheibe aber, weniger hell als die Oberfläche, in der Form von Marken erscheint. Er unterscheidet deshalb geballtes und adernförmiges Lichtgewölke. Furchen nennt er die zwischen dem adernförmigen Lichtgewölke befindlichen matten Stellen der allgemeinen Sonnenoberfläche, welche stets ein chagrinartiges, griesfandiges Ansehen hat, d. h. an Sand erinnert, welcher aus gleich großen Körnern besteht.

Ein Zusammenhang zwischen den Sonnenflecken und den Witterungsverhältnissen auf der Erde oder ein Einfluß derselben auf die Temperatur des Jahres ist noch nicht mit Sicherheit nachzuweisen gewesen. Nach Schwabe's Beobachtungen scheint es, als ob die fleckenreichen Jahre weniger heitere Tage zählten, als die fleckenarmen. Es ist auch kaum zu erwarten, daß hier ein Zusammenhang entdeckt wird, da jedenfalls die Störungen in der Sonnenatmosphäre nicht weniger verwickelt sind, als die in der Erdatmosphäre. Historisch sei daher nur bemerkt, daß Battista Valtiani gegen Galilei die Ansicht äußerte, mit der wachsenden Anzahl der Flecken müsse die Kälte auf der Erde zunehmen. William Herschel war hingegen der Meinung, daß die schwarzen Sonnenflecken mit einer größeren Ausstrahlung von Licht und Wärme verbunden seien. Secchi will gefunden haben, daß die Flecken eine Verminderung der Temperatur auf der Oberfläche der Sonne hervorbringen, und Gautier in Genf, daß in fleckenarmen Jahren die mittlere Jahrestemperatur etwas höher ausfällt, als in fleckenreichen. Nach Rudolph Wolf in Bern sollen fleckenreiche Jahre sich im Allgemeinen trockener und fruchtbarer gezeigt haben, als fleckenarme, diese letzteren aber feuchter und stürmischer als die ersteren.

Arago hat mittelst seines Polariskops (s. Art. Polarisation des Lichtes Bd. V. S. 428) nachgewiesen, daß das Licht, welches von der Oberfläche eines festen oder flüssigen Körpers im glühenden Zustande unter einem hinreichend kleinen Winkel ausgestrahlt wird, entschieden polarisirt ist, nicht aber Licht, welches eine entzündete Materie von gasförmiger Beschaffenheit verbreitet. Nun hat sich gezeigt, daß die Strahlen, welche von den Rändern der Sonnenscheibe zu uns gelangen, niemals polarisirt sind, folglich ist die leuchtende Materie, welche den scheinbaren Rand der Sonnenscheibe bildet, und mithin die der ganzen Oberfläche der Sonne, da die Rotation der Sonne die an den Rändern liegenden Theile über die ganze Fläche hinwegführt, gasförmig.

Die Intensität des Lichtes der Sonne mit dem der Sterne zu vergleichen, hat Huyghens versucht *). Danach würden 765 Millionen Sterne von der Helligkeit des Sirius erforderlich sein, um einen dem Sonnenlichte gleichen

*) Arago a. a. O. S. 140.

Glanz auszustrahlen. — *Mitchell* berechnete unter der Annahme, daß das gesammte Sonnenlicht, welches die Oberfläche des Saturn trifft, von derselben zurückgestrahlt werde, daß die gegenwärtige Entfernung der Sonne um ihren 220000fachen Betrag vermehrt werden müßte, damit wir von ihr so viel Licht empfangen, als von dem Saturn, oder damit sie wie ein Fixstern erster Größe leuchte. Nehmen wir aber an, daß von dem Saturn nur der vierte oder sechste Theil des auffallenden Lichtes reflectirt wird, so muß die angegebene Entfernung noch mit 2 oder $2\frac{1}{2}$ multiplicirt werden. Sollte die Sonne so hell als der Jupiter erscheinen, so müßte unter gleichen Annahmen die Sonne 46000 mal weiter von der Erde abstehen, als dies der Fall ist. — Nach *Lambert* würde die Sonne bei einer 425000fachen Entfernung von der Erde noch heller leuchten, als ein Stern erster Größe, wie Saturn ohne seinen Ring, wobei angenommen ist, daß der Saturn nur $\frac{1}{7}$ des auffallenden Lichtes reflectirt. — Nach *Wollaston* leuchtet die Sonne 20000 Millionen mal so stark, als der Sirius. — Die Intensität des Lichtes einer Kerze beträgt nur $\frac{1}{15000}$ der Intensität des Sonnenlichtes von der Oberfläche der Erde aus gesehen *).

Ueber die Lichtintensität an verschiedenen Punkten der Sonnenscheibe sind die Ansichten verschieden. *Bouguer* meint, die Helligkeit der Sonne sei an denjenigen Stellen der Scheibe, welche von dem Mittelpunkt weiter abstehen, geringer. *Lambert* hält es für unbestritten, daß die Oberfläche der Sonne überall denselben Glanz zeige. *Mirz*, *John Herschel* und *Laplace* stimmen *Bouguer* bei. *Fizeau* und *Foucault* haben mittelst Daguerre'scher Platten ein photographisches Sonnenbild aufgefangen, welches ebenfalls für eine größere Lichtintensität der Mitte gegen die der Mänder spricht.

Nach *Herschel* **) beträgt die jährlich auf unsere Erdoberfläche fallende Sonnenwärme so viel, daß durch dieselbe wenigstens eine über ihre Oberfläche verbreitete Eisschicht von 84', 54 Mächtigkeit geschmolzen werden würde. *Pouillet* ***) berechnet etwas mehr, nämlich eine 30,89 Meter dicke Eisschicht, wenn die gesammte Wärmemenge, welche die Erde im Laufe des Jahres von der Sonne empfängt, auf alle Punkte der Erdoberfläche gleichförmig vertheilt und ohne Verlust zur Schmelzung von Eis verwendet würde. *Secchi* beobachtete, daß verschiedene Punkte der Sonnenscheibe nicht genau dieselbe Temperatur besitzen, daß die Wärme nach dem Sonnenrande zu abnimmt, daß bei gleichen Abständen von der Mitte die Polarregionen der Sonne weniger warm sind, als die Aequatorialregionen und daß sogar die beiden durch den Aequator geschiedenen Hemisphären nicht genau dieselbe Temperatur besitzen. Den Einfluß der Flecken haben wir bereits oben erwähnt; wir fügen hier nur noch hinzu, daß auch *Henry* das geringere Ausstrahlungsvermögen der Flecken beobachtet hat. Die Sonnensackeln scheinen ohne merklichen Einfluß zu sein.

Haben wir oben gesehen, daß die Sonne an sich eine dunkle Kugel ist, welche eine wolkenartige Dunsthülle in gewissem Abstände umgiebt, und daß über dieser eine Lichthülle (Photosphäre) sich befindet; so müssen wir schließlich noch erwähnen,

*) Vergl. Art. Licht Bd. IV. S. 481. und Fixsterne Bd. III. S. 219.

**) *Pogg. Ann.* Bd. XLI. S. 339.

***) *Ebend.* Bd. XLV. S. 33.

daß es namentlich durch die totale Sonnenfinsterniß vom 8. Juli 1842 als erwiesen angesehen werden kann, indem sich dabei eigenthümliche röthliche Hervorragungen (Protuberanzen) zeigten, daß über der Photosphäre noch eine Wolkenhülle liegt, welche von dunklen oder nur wenig leuchtenden Wolken gebildet ist.

Ueber die Sonne als Lichtquelle ist überdies Art. Licht Bd. IV. S. 480 zu vergleichen.

Die neueren astronomischen Beobachtungen haben gezeigt, daß die Sonne nicht bloß sich um ihre Axe dreht, sondern auch eine fortschreitende Bewegung hat, wie dies auch bei mehreren Fixsternen hat nachgewiesen werden können. Die Richtung, in welcher das Sonnensystem sich bewegt, führt auf das Sternbild des Herkules. Das Nähere ist im Art. Fixsterne Bd. III. S. 231 ff. zu finden.

H. G.

Sonnenfinsternisse entstehen dann, wenn der Mond eine solche Stellung zur Erde hat, daß er einem Theile der Erdbewohner den Anblick der Sonne ganz oder theilweise entzieht. Im Allgemeinen ist der Hergang bereits im Art. Mond Bd. IV. S. 1114 ff. charakterisirt; es erübrigt nur noch in Bezug auf die Berechnung einer Sonnenfinsterniß Einiges beizubringen.

Für die Zeit t der wahren Conjunction von Sonne und Mond entnehme man aus den astronomischen Ephemeriden folgende Elemente:

Für den Mond: die wahre Rectascension α , die wahre Declination δ , die Horizontalparallaxe p , den Halbmesser m , die stündliche Aenderung der Rectascension da und die stündliche Aenderung in Declination dd ;

für die Sonne: die wahre Rectascension α , die wahre Declination δ , die Horizontalparallaxe π , den Halbmesser μ , die stündliche Aenderung in Rectascension da und die stündliche Aenderung in Declination dd .

Hiermit berechne man die Hülfsgrößen n , e und h nach den Formeln:

$$\begin{aligned} \lg n &= \frac{dd - dd}{(da - da) \cos \frac{1}{2} (d + \delta)}, \\ h &= \frac{\cos n}{(da - da) \cos \frac{1}{2} (d + \delta)} = \frac{\sin n}{dd - dd}, \\ e &= (d - \delta) \cos n. \end{aligned}$$

Hieraus findet man dann die Zeit T der Mitte der Finsterniß:

$$T = t + (d - \delta) h \sin n,$$

die Größe G der Finsterniß in Zollen, d. h. in Zwölfteln des scheinbaren Sonnendurchmessers:

$$G = \frac{6}{\mu} (p - \pi + m + \mu - e).$$

Berechnet man außerdem die Hülfswinkel A , B , C und Dx nach folgenden Formeln:

$$\begin{aligned} \cos A &= \frac{e}{p - \pi + m + \mu}, \\ \cos B &= \frac{e}{p - \pi}, \end{aligned}$$

$$\cos C = \frac{e}{p - \pi \mp (m - \mu)} \quad \text{und}$$

$$\cos D\alpha = \frac{e}{p - \pi + m + \left(1 - \frac{k}{6}\right)\mu},$$

wo in der Formel für $\cos C$ das obere Zeichen bei totalen, das untere aber bei ringförmigen Sonnenfinsternissen genommen werden und $k < 6$ sein muß; so erhält man den Anfang und das Ende einer Sonnenfinsternis und zwar

$\mathcal{S} \mp h e \operatorname{tgs} A$, wenn sie partial ist,

$\mathcal{S} \mp h e \operatorname{tgs} B$, wenn sie central ist,

$\mathcal{S} \mp h e \operatorname{tgs} C$, wenn sie total oder ringförmig ist, und

$\mathcal{S} \mp h e \operatorname{tgs} D$, wenn sie krollig ist.

Wegen des Näheren, namentlich wegen der Beantwortung der sonstigen vielfachen bei Sonnenfinsternissen vorkommenden Fragen, z. B. an welchem Orte wird die Sonnenfinsternis zu einer bestimmten Zeit gerade eine gewisse Anzahl Zolle betragen? müssen wir auf specielle astronomische Werke verweisen, z. B. auf Jahn's praktische Astronomie Bd. II. S. 362 ff.

Außer dieser mathematischen Berechnung möge indessen hier noch eine mehr empirische eine Stelle finden.

Die gegen die Ekliptik geneigte Mondbahn hat ihre Knotenpunkte nicht in jedem Monate an derselben Stelle, sondern es rücken diese etwas rückwärts. Es vergehen 18 Jahre 10 oder 11 Tage und außerdem noch 8 Stunden, bis die Knotenpunkte wieder an derselben Stelle liegen, und deshalb müssen auch die Finsternisse eine so große Periode haben. Man braucht mithin nur die innerhalb einer solchen 18jährigen Periode eingetretenen Finsternisse zu wissen, um rückwärts oder vorwärts die entsprechenden Finsternisse zu ermitteln. Als Beispiel wählen wir die große Sonnenfinsternis des nördlichen Europa am 28. Juli 1851 um 3 Uhr Nachmittags. Welches war die entsprechende Sonnenfinsternis vor 18 Jahren? Subtrahiren wir 18 von 1851, so erhalten wir das Jahr 1833. Da nun von 1833 bis 1851 nur 4 Schaltjahre gewesen sind, so subtrahiren wir von dem 28. Juli 11 Tage und erhalten hierdurch den 17. Juli, außerdem subtrahiren wir von 3 Uhr Nachmittags noch 8 Stunden und finden also 7 Uhr Morgens des 17. Juli 1833 als den Tag und die Stunde der entsprechenden Sonnenfinsternis.

— Wann wird die entsprechende Sonnenfinsternis nach 18 Jahren eintreten? Wir addiren 18 zu 1851, erhalten also das Jahr 1869. Da nun von 1851 bis 1869 5 Schaltjahre liegen, so addiren wir nicht 11, sondern nur 10 Tage zu dem 28. Juli und erhalten hierdurch den 7. August, außerdem addiren wir aber noch, um die Stunde der Verfinsterung zu erhalten, 8 Stunden zu 3 Uhr Nachmittags, und somit finden wir, daß am 7. August 1869 um 11 Uhr Abends eine — für uns jedoch dann unsichtbare — Sonnenfinsternis sein wird.

Die Sonnenfinsternis schreitet wegen der Bewegung des Mondes und der Rotation der Erde über die Erdoberfläche in einer Curve hin, die im Allgemeinen nicht bestimmbar ist, da jedesmal andere Verhältnisse obwalten. Die Curve beginnt auf der Erde in einem Punkte, für welchen die Sonne eben aufgeht, und

endet nach 4 bis 5 Stunden an einer Stelle, welche 100 bis 120° östlicher liegt, und für welche die Sonne eben untergeht. Die Stellen der Erde, an denen die Finsterniß nur partial ist, liegen zu beiden Seiten dieser Curve.

§. G.

Sonnenuhren sind diejenigen Instrumente, die mit Hülfe des Schattens, welchen ein dem Sonnenlichte ausgesetzter Stab oder Stift wirft, die wahre Zeit nach der gewöhnlichen Stundeneintheilung zu bestimmen dienen.

Schon in der Bibel *) werden Sonnenuhren erwähnt, so daß sie bereits um 750 v. Chr. bekannt sein mußten. In Griechenland wurde um 545 v. Chr. durch Anaximander in Lacedämonien die erste Sonnenuhr aufgestellt. In Rom soll Papirius Cursor (306 v. Chr.) die erste Sonnenuhr aufgestellt haben, und erst 276 v. Chr. erhielt Rom eine zweite **).

Scheinbar bewegt sich der ganze Himmel einmal während jedes Sterntages um die feststehende Erde. Wendete nun die Sonne ihren Standpunkt unter den Fixsternen nicht, so würde diese während eines jeden Sterntages um die scheinbar ruhende Erde genau eine Kreisperipherie durchlaufen. Stellen wir uns nun hinter der Erde auf der der Sonne entgegengesetzten Seite irgend eine ebene oder krumme, aber feste und unveränderliche Fläche vor, so würde der Schatten, welchen die von der Sonne beleuchtete Erde hinter sich wirft, auf diese Fläche fallen und auf ihr eben so gleichmäßig, nur in entgegengesetzter Richtung, sich fortbewegen, wie die Sonne mit allen Fixsternen regelmäßig um die Erdoaxe herumgehen würde, und so oft diese Sonne in allen folgenden Tagen von dem Meridiane eines bestimmten Beobachtungsortes wieder dieselbe Entfernung, d. h. so oft die Sonne wieder denselben Stundenwinkel hat, so oft würde auch der Schatten der Erdoaxe wieder dieselbe Stelle auf jener Fläche einnehmen, so daß, wenn man die Stelle für 1, 2, 3 . . . Uhr einmal kennt, man künftig auch immer umgekehrt aus dem Orte des Schattens auf die ihm entsprechende Tageszeit würde schließen können. In dem angenommenen Falle würde die Sonne die verschiedenen Stunden des Sterntages (s. Art. Zeit und Art. Jahr) anzeigen. Die Sonne steht aber unter den Fixsternen nicht still, sondern bewegt sich täglich nahe einen Grad gegen Osten und zwar nicht alle Tage mit derselben, sondern mit veränderlicher Geschwindigkeit, nämlich schneller, wenn die Erde in der Sonnennähe, und langsamer, wenn diese sich in der Sonnenferne befindet. Der Schatten der Erde wird jedoch noch immer seinen täglichen Weg auf jener Fläche zurücklegen, und zwar wird die der Erdoaxe entsprechende Stelle des Schattens immer wieder dieselbe sein, so oft die Sonne genau dieselbe Stelle gegen den Meridian des Beobachtungsortes einnimmt, d. h. so oft die wahre Sonne in dem Laufe eines jeden künftigen Tages wieder denselben Stundenwinkel hat. Der Schatten der Erdoaxe auf jener Fläche wird mithin nicht mehr, wie vorhin, die Sternzeit, sondern er wird den Stundenwinkel der wahren Sonne, d. h. er wird die wahre Zeit angeben.

Der Halbmesser der Erde beträgt 859,417 Meilen (s. Art. Erde Bd. II. S. 892), die mittlere Entfernung der Sonne von der Erde 20682000 geogr. Meilen (s. Art. Sonne); die letztere ist also über 24000 mal größer als ersterer.

*) 2. Buch der Könige Kap. 20, V. 9—11, und Jesaias Kap. 38, V. 8.

**) Plinius, hist. nat. VII. cap. 60.

Die ganze Erde ist somit als ein sehr kleiner Körper, nur als ein beinahe verschwindender Punkt gegen jene hohle Himmelskugel anzusehen, in deren Oberfläche sich die Sonne aufhält; würden wir ein Modell construiren wollen, in welchem diese beiden Kugeln in richtigem Verhältnisse dargestellt wären, und gäben wir der die Erde repräsentirenden Kugel nur einen Durchmesser von einem preuß. Fuße, so müßte der Durchmesser der Himmelskugel über eine deutsche Meile betragen, da eine solche 23661 preuß. Fuß enthält. Also würde eine so kleine Kugel von nur einem Fuß Durchmesser, wenn wir hinter ihr eine feste Fläche anbrächten, wenn wir sie also vor einer von der Sonne beschienenen Wand aufstellten, uns ganz dieselben Dienste leisten, wie jener unausführbare Apparat, wenn nur, was allerdings die Hauptsache ist, die Axe dieser kleinen Kugel, also ein durch ihren Mittelpunkt gehender, beiderseits herausragender Stift, mit der großen Weltaxe genau parallel gelegt wird. Wegen der so geringen Größe der Erde gegen die ungemeine Entfernung der Sonne kann man sogar, da man die Sonnenstrahlen, welche die Erde treffen, als unter sich parallel anzusehen berechtigt ist, von der eben erwähnten kleinen Kugel ganz absehen und braucht nur einen einfachen, der Erdaxe parallelen Stift zu nehmen, um aus dem Schatten desselben, der auf eine hintergestellte Fläche fällt, die wahre Zeit in jedem Augenblick zu erkennen.

Es kommt also bei der Anfertigung einer Sonnenuhr darauf an: 1) einen Stift so zu stellen, daß er der Erdaxe parallel ist, und 2) auf einer hinter diesem Stifte stehenden Fläche die Orte des Schattens dieses Stiftes für jeden Augenblick der wahren Zeit anzugeben.

Nehmen wir an, die Uhr solle auf einer Ebene verzeichnet werden, welche ganz allgemein gegen den Horizont unter einem Winkel von n Graden geneigt sei und deren Durchschnittslinie mit dem Horizonte von der Mittagslinie um den Winkel k gegen Westen abweiche, so daß man n von Nord nach Süden und k von Süden nach Westen zähle. Eine solche Uhr würde eine *declinirende Sonnenuhr* sein. Ferner setzen wir voraus, der mit der Weltaxe parallele Stift sei in richtiger Lage befestigt, und durch ihn eine auf die Uhr Ebene senkrechte Linie gefällt. Die Durchschnittslinie dieser Ebene mit der Uhr Ebene heißt die *Subsilarlinie* (Zeigerlinie) der Uhr und von ihr aus zählt man die Winkel m' der Schatten- oder Stundenlinien der Sonnenuhr. Nun berechne man folgende beiden Hülfswinkel φ' und λ mittelst der Gleichungen:

$$\sin \varphi' = \cos n \cdot \sin \varphi + \sin n \cdot \cos \varphi \cdot \sin k \dots (1)$$

$$\operatorname{tgs} \lambda' = \frac{\operatorname{tgs} n \cdot \cos k}{\cos \varphi - \sin \varphi \cdot \sin k \cdot \operatorname{tgs} n} \dots (2),$$

wo φ die Polhöhe des Beobachtungsortes bezeichnet. Ist dann s der betreffende Stundenwinkel der Sonne, so hat man für den gesuchten Winkel m' einer jeden Schattenlinie der Sonnenuhr den Ausdruck

$$\operatorname{tgs} m' = \sin \varphi' \cdot \operatorname{tgs} (s + \lambda') \dots (3),$$

wonach man dann die betreffenden Linien auf der Uhrfläche verzeichnet.

Ist $n = 0$, so heißt die Uhr eine *Horizontale Uhr*, für welche man erhält:

$$\sin \varphi' = \sin \varphi, \operatorname{tgs} \lambda' = 0, \operatorname{tgs} m' = \sin \varphi \cdot \operatorname{tgs} s.$$

Ist $n = 90^\circ$, so erhält man eine Verticaluhr und für eine solche ist:

$$\sin \varphi' = \cos \varphi \cdot \sin k, \quad \operatorname{tg} s \cdot \lambda' = - \frac{\operatorname{ctg} k}{\sin \varphi}$$

$$\text{und } \operatorname{tg} s' m' = \frac{\cos \varphi \sin k (\sin \varphi \cdot \sin k \cdot \operatorname{tg} s \cdot s - \cos k)}{\sin \varphi \cdot \sin k + \operatorname{tg} s \cdot s \cdot \cos k} \dots (4).$$

Ist $n = 90^\circ$ und $k = \pm 90^\circ$, so erhält man die verticale Mittagshuhr und für dieselbe aus (4):

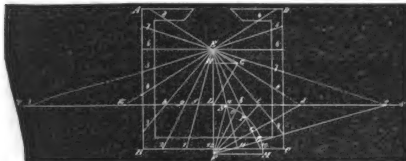
$$\operatorname{tg} s' m' = \pm \cos \varphi \cdot \operatorname{tg} s \cdot s$$

Eben so resultirt für die verticale Mitternachtshuhr:

$$\operatorname{tg} s' m' = \mp \cos \varphi \cdot \operatorname{tg} s \cdot s^*).$$

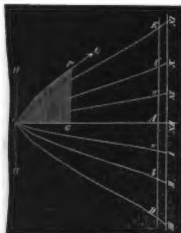
Eine rein graphische Construction ist folgende, wobei wir die Lage der Mittaglinie und die Größe der Polhöhe des Ortes, für welchen die Sonnenuhr angefertigt werden soll, als bekannt voraussetzen.

Horizontaluhr. ABCD sei die horizontale Fläche, auf welcher die Uhr verzeichnet werden soll, EF die Mittaglinie und Winkel φ gleich der Polhöhe des



Ortes. An den auf EF beliebig angenommenen Punkt E lege den Winkel $\angle GEF = \varphi$, ziehe GH senkrecht auf EF und GL senkrecht auf EG, mache $LF = LG$, beschreibe von F aus mit beliebiger Zirkelöffnung, z. B. mit LF einen Viertelkreis (Quadranten) LMF und ziehe, nachdem dieser Kreisbogen in 6 gleiche Theile durch N, O, P, Q, R getheilt worden ist, durch diese Theilungspunkte bis zu der durch L auf EF senkrecht gezogenen Linie TLS die Linien FNa, FOb, FPc, PQd, FRc. Auf der anderen Seite von LS mache die Stücke $Lf = La$, $Lg = Lb$, $Lh = Lc$, $Lk = Ld$, $Li = Le$, und ziehe durch alle auf ST erhaltene Punkte von E aus gerade Linien, welche, die Stundenlinien vorstellend, zu beiden Seiten bis zum Rande verlängert, hier mit den Stundenzahlen versehen werden. Nur diese Stundenlinien und eine für die sechste Stunde auf EF durch E gezogene Senkrechte werden

*) Jahn's Wörterbuch der angewandten Mathematik, Art. Sonnenuhr, Bd. II. S. 360.



von A, so viele dieser Theile auf, als die folgende Tafel für jeden Stundenwinkel angiebt, wodurch man die Punkte a, b, c . . und a', b', c' . . erhält, die mit C verbunden, die gesuchten Schattenlinien Ca, Ca', Cb, Cb' . . der Horizontaluhr geben. Wollte man also eine solche Uhr, z. B. für Weimar errichten, so wird man; da die geographische Breite dieser Stadt 51° beträgt, von den 1000 gleichen Theilen der Linie CA, 208 von A nach a und nach a' tragen, um die Schattenlinien für die erste Stunde vor und nach Mittag zu erhalten. Nimmt man eben so $Ah = Ah' = 449$ solcher Theile, so erhält man die Schattenlinien für 10 Uhr und für 2 Uhr nach dem Mittag, und so fort für alle übrigen Stunden und Unterabtheilungen derselben.

Nachstehende Tafel umfaßt ganz Deutschland und ist bis auf Viertelfunden berechnet.

Höhen.

Grad den.	45°	46°	47°	48°	49°	50°	51°	52°	53°	54°	55°
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	46	47	48	49	49	50	51	52	52	53	54
30	93	93	96	98	99	101	102	104	105	106	108
45	141	143	145	148	150	152	155	157	159	161	163
1 0	189	193	196	199	202	205	208	211	214	217	219
15	246	244	248	252	256	260	264	267	271	275	278
30	293	298	303	308	313	317	322	326	331	335	339
45	349	355	361	366	372	378	383	389	394	399	404
2 0	409	415	422	429	436	442	449	455	461	467	473
15	472	481	489	497	504	512	519	526	534	541	547
30	543	552	561	570	579	588	596	605	613	621	629
45	620	631	641	652	662	672	681	691	700	709	718
3 0	707	719	731	743	755	766	777	788	799	809	819
15	806	820	834	847	861	873	886	899	911	922	934
30	921	937	953	968	984	998	1013	1027	1041	1054	1067
45	1039	1076	1094	1112	1129	1146	1163	1179	1195	1211	1226
4 0	1225	1246	1267	1287	1307	1327	1346	1365	1383	1401	1419
15	1434	1459	1483	1507	1530	1553	1576	1598	1619	1640	1661
30	1707	1737	1765	1794	1822	1849	1876	1902	1928	1953	1978
45	2083	2119	2154	2189	2223	2257	2289	2321	2353	2383	2413
5 0	2639	2684	2729	2773	2817	2859	2900	2940	2981	3019	3057
15	3355	3416	3477	3536	3594	3651	3707	3762	3815	3867	3918
30	3771	3844	3915	3985	4053	4120	4185	4249	4311	4371	4429
45	4078	4175	4258	4338	4415	4490	4563	4634	4703	4770	4835

Für 6 Uhr Morgens oder Abends ist die Entfernung des Durchschnittspunktes der Schattenlinien mit der Linie DAE, von A an gezählt, unendlich groß, d. h. diese Schattenlinie fällt in die durch C mit DE parallel gezogene Linie VI, VI. Will man dann noch die übrigen weiter gegen Morgen oder gegen Abend fallenden Schattenlinien auf der Tafel verzeichnen, so wird man nur die bereits erhaltenen Schattenlinien rückwärts über C hinaus verlängern. So gehört z. B. die Schattenlinie C. IX für 9 Uhr Morgens, also auch ihre Verlängerung auf der anderen Seite von C für 9 Uhr Abends, und eben so wird die Linie C. III verlängert die Schattenlinie für 3 Uhr Morgens geben, wo man diese Linien offenbar nicht weiter fortsetzen wird, als die größte halbe Tageslänge des Orts beträgt.

Schwieriger wird es sein, eine Sonnenuhr für jede beliebige gegen den Horizont geneigte oder krumme Fläche zu construiren. Diese Sonnenuhren haben mit der horizontalen Sonnenuhr nur dies gemein, daß ihr Stiel immer mit der Erdoberfläche parallel sein muß. Mit Hülfe einer guten Horizontaluhr kann man aber jede beliebig gerichtete Sonnenuhr leicht herstellen. Zu diesem Zwecke wird man die bereits verfertigte, und zur größeren Genauigkeit in einem bedeutenderen Maßstabe ausgeführte Horizontaluhr auf einen festen Tisch unmittelbar vor jener Fläche, z. B. vor jener Wand bringen, auf welcher man die neue Uhr verzeichnen will. Auf diesem Tische stellt man dann die Tafel der Horizontaluhr, mittelst einer Libelle, horizontal, und überdies die Linie CA (Fig. S. 31) genau in die Mittagslinie, so daß der Punkt C nach Süd und der Punkt A genau nach Nord steht. Am einfachsten wird man dies leisten, wenn man nicht schon eine verlässliche und genaue Pendel- oder Taschenuhr hat, erreichen, wenn man mit Hülfe desONOMONS den Augenblick bemerkt, wo der Schatten der verticalen Stange auf das schon durch frühere Beobachtungen bekannte Zeichen des Mittags fällt, und wenn man, in diesem Augenblicke, die immer horizontale Tafel der Uhr so dreht, daß der Schatten ihres Stiftes CQ genau auf die Schattenlinie CA der zwölften Stunde der Horizontaluhr fällt. In dieser Lage ist also die Horizontaluhr auf ihrem Tische vollkommen orientirt. Verlängert man nun, etwa durch einen gespannten Faden, den Stiel CQ der Horizontaluhr, bis dieser Faden die Wand, auf welche die neue Uhr verzeichnet werden soll, in einem Punkte R trifft, so wird man in diesem Punkte R der Wand einen Stiel, z. B. eine Stange von Eisen so befestigen, daß er dem gespannten Faden genau parallel wird. Da sonach dieser Stiel auch der Weltaxe parallel ist, so wird er der Stiel der neuen Uhr sein. Auf dieselbe Weise, wie man den Stiel der Horizontaluhr verlängert hat, wird man aber auch die Schattenlinien derselben verlängern können, indem man nämlich den in C (Fig. S. 31) befestigten Faden von seiner ersten Lage CQ abhebt, und ihn in die Lage CA, Ca', Ch' . . der Schattenlinien der Horizontaluhr für 12, 11, 10 Uhr u. s. f. bringt, ihn in dieser Lage spannt, und die Punkte r, r', r'' . . der Wand bemerkt, in welchen der so gespannte Faden die Wand trifft. Verbindet man dann diese Punkte r, r', r'' . . der Wand mit dem vorigen Punkte R derselben durch die geraden Linien Rr, Rr', Rr'' . . , so erhält man sofort auch die Schattenlinien der neuen Uhr für 12, 11, 10 . . Uhr u. s. f. für jede andere Stunde des Tages.

Dies setzt voraus, daß die Wand, auf welcher die neue Sonnenuhr verzeichnet werden soll, eine Ebene, z. B. die senkrechte Wand eines Hauses oder die ebene Fläche irgend eines Daches ist, denn nur dann werden schon zwei Punkte wie R

und r oder wie R und r' u. s. f. hinreichen, die gerade Linie, d. h. die Schattenlinie der Uhr zu bestimmen. Ist aber diese Wand eine krumme Fläche, z. B. die Oberfläche eines cylindrischen oder kegelförmigen Gebäudes, so sind die Schattenlinien einer solchen Wand nicht mehr gerade, sondern ebenfalls krumme Linien, zu deren Verzeichnung jene zwei Punkte nicht mehr hinreichen. Allein in diesem Falle kann man sich eines sehr einfachen Mittels bedienen, diese krummen Schattenlinien unmittelbar zu finden. Dieses Mittel läßt sich auch eben so bequem und sicher zugleich bei ebenen Wänden anbringen, und es hat noch den Vortheil, daß man die neue Sonnenuhr selbst ohne Hülfe der Sonne oder zur Nachtzeit verzeichnen kann. Dieses Mittel besteht in einer Lampe, deren Licht man in einer beträchtlichen Entfernung von der Horizontaluhr aufstellt. Am besten wird man eine solche Lampe wählen, die ihr Licht nicht durch ein gewöhnliches Fensterglas, sondern durch eine Glaslinse schießt, in deren Brennpunkte die Flamme der Lampe steht. Dann werden nämlich die von der Flamme auf die Linse fallenden Strahlen, nach der Brechung durch diese Linse, unter sich parallel auf die Horizontaluhr treten, wie dies auch mit den Strahlen der Sonne der Fall ist, und man wird daher eine solche Lampe auch ganz nahe an die Horizontaluhr halten können, um den Schatten des neuen Stiels auf der krummen Wand desto deutlicher zu sehen. Hält man nun diese Lampe so, daß der Stiel CQ der Horizontaluhr nach und nach auf die Schattenlinien CA , Ca' , Cb' . . derselben für 12, 11, 10 . . Uhr fällt, so wird auch der Schatten des neuen Stiels auf der krummen Wand diejenigen krummen Linien angeben, auf welche der Schatten dieses neuen Stiels, wenn er von der Sonne beschienen wird, um 12, 11, 10 . . Uhr fallen wird, und so fort für alle übrigen Stunden des Tages, so daß man also nur, für alle jene Tage der Lampe, den Schatten des neuen Stiels auf der krummen Wand, seiner ganzen Länge nach, anzeichnen darf, um sofort auch die entsprechenden Schattenlinien der neuen Sonnenuhr zu erhalten.

Die Kunst, Sonnenuhren zu verfertigen, nennt man *Gnomonik*. Von den Werken, welche davon handeln, erwähnen wir: Helfzenried's vollständigen Unterricht, gute Sonnenuhren zu machen, Augsburg 1790; und Littrow's *Gnomonik*, Wien 1831.

Die Sonnenuhren sind übrigens entweder feste oder tragbare. Letztere werden entweder mit Hülfe einer guten Magnetnadel oder einer genau gezogenen Mittagslinie gehörig umgestellt, d. h. orientirt, und überdies muß die Uhrfläche die richtige Lage haben. Mit großer Genauigkeit und Sorgfalt werden in Berlin nach der Angabe des Herrn Professor August horizontale tragbare Sonnenuhren gearbeitet; auch hat sich der Kupferstecher Böhm in Leipzig durch Anfertigung dergleichen Uhren in neuerer Zeit sehr hervorgethan.

H. G.

Sonnenwenden, Wendepunkte, Sonnenstillstandspunkte, Solstitialpunkte heißen die beiden Punkte der Ekliptik, welche von dem Aequator nördlich und südlich am weitesten abstehen. Der nördlich von dem Aequator liegende Punkt heißt der Sommerwendepunkt, der südlich liegende der Winterwendepunkt. Da Aequator und Ekliptik größte Kreise sind, so liegen die Wendepunkte von den Durchschnittspunkten derselben, den Nachtgleichen (s. d. Artikel), um 90 Grad entfernt; sie selbst liegen von einander um 180° aus-

einander. Legt man durch die beiden Solstitialpunkte einen auf dem Aequator senkrecht stehenden größten Kreis, so erhält man den Kolur der Sonnenwenden (s. Art. Koluren Bd. IV. S. 323). Der Bogen des Kolur zwischen Aequator und Ekliptik ist das Maas für die Schiefe der Ekliptik (s. d. Artikel).

Die Sonnenwendepunkte haben ihren Namen daher erhalten, daß die Sonne, wenn sie auf ihrem scheinbaren Laufe in der Ekliptik durch den Sommerwendepunkt geht, erst nordwärts sich vom Aequator entfernt und dann sich demselben wieder südwärts nähert; ebenso bei dem Durchgange durch den Winterwendepunkt erst südwärts sich von dem Aequator entfernt und dann nordwärts sich wieder nähert, also in ihrer Richtung sich umwendet. Sonnenstillstandspunkte heißen die beiden Punkte deshalb, weil die Sonne in der Zeit kurz vor und kurz nach dem Durchgange durch dieselben einen Bogen durchläuft, der als dem Aequator parallel angesehen werden kann, so daß der Abstand der Sonne von dem Aequator während dieser Zeit nur wenig verschieden ist, die Sonne mithin in Beziehung zum Aequator still zu stehen scheint. Warum man die beiden Kreise, welche parallel mit dem Aequator durch die beiden Wendepunkte gehen, Wendekreise nennt, ist nun an sich klar.

Die Zeit, zu welcher die Sonne in dem Sommerwendepunkte steht, fällt um den 21. Juni, und die, zu welcher ihr Stand in dem Winterwendepunkte ist, um den 22. December. Wegen der Schaltjahre findet in dieser Beziehung eine kleine Verschiebung statt, welche durch das Ausfallen der Säcular-Schalttage wieder ausgeglichen wird.

Steht die Sonne im nördlichen Solstitialpunkte, so hat die nördliche Halbkugel der Erde den längsten Tag und die kürzeste Nacht, weil sich dann die Horizonte der Bewohner auf der nördlichen Halbkugel mit dem Tagkreise der Sonne, welches dann der Wendekreis ist, so schneiden, daß der größte Theil des letzteren über und der kleinste unter dem Horizonte liegt. Steht die Sonne in dem südlichen Solstitialpunkte, so hat die südliche Halbkugel den längsten Tag und die kürzeste Nacht. Bei der ersten Stellung ist auf der südlichen Halbkugel und bei der zweiten Stellung auf der nördlichen Halbkugel alsdann der kürzeste Tag und die längste Nacht. Die Bezeichnung Sommer- und Winterwendepunkt paßt also in dem angegebenen Sinne eigentlich nur für die nördliche Halbkugel.

Wie man den Moment ermittelt — denn es ist eben nur ein einziger Augenblick und nicht ein ganzer Tag, — in welchem die Sonne gerade in dem Wendepunkte steht, darüber enthält der Art. Schiefe der Ekliptik das Nähere, da es bei der Bestimmung derselben auf die Messung des zwischen der Ekliptik und dem Aequator liegenden Kolurbogens ankommt.

S. G.

Sonntagsbuchstabe, s. Kalender.

Sonometer, s. Monochord.

Spannkraft, s. Elasticität.

Spannungstreihe, galvanische (elektrische). Im Art. Galvanismus (Bd. III. S. 304 ff.) sind die Erscheinungen der Berührung- oder Contactelektricität, die man gewöhnlich die galvanische oder volta'sche Elektricität nennt, ausführlicher besprochen worden. Kommen zwei ungleichartige Körper mit einander in Berührung, so gerathen sie in entgegengesetzt elektrische Zustände: der

eine wird positiv, der andere negativ elektrisch. Von besonderer Bedeutung sind aber in dieser Beziehung die sogenannten Leiter der Elektrizität (s. d. Art.). Sind nun solche Körper zu einer Reihe dergestalt geordnet, daß jeder vorhergehende in Berührung mit irgend einem der nachfolgenden positiv, der letztere Körper also negativ elektrisch wird, oder auch in umgekehrter Weise so zu einer Reihe zusammengestellt, daß jeder vorhergehende in Berührung mit jedem nachfolgenden negativ, dieser also positiv elektrisch wird; so hat man eine sog. galvanische Spannungsreihe.

Wir haben schon im Art. Galvanismus erörtert, daß die elektrische Differenz je zweier Körper aus dieser Spannungsreihe um so größer ist, je weiter sie in derselben von einander abstehen, so wie auch, daß die elektrische Differenz je zweier Glieder (in der Spannungsreihe) gleich ist der Summe der elektrischen Differenzen der Zwischenglieder, und endlich, was hiermit in nächster Beziehung steht, daß, wenn man verschiedene Glieder der Spannungsreihe aufeinander legt, die elektrische Spannung der Endglieder eben so groß ist, als ob sich diese unmittelbar berührten.

Zu einer solchen Spannungsreihe lassen sich nun die sog. trocknen Leiter oder Erreger der Elektrizität, insbesondere die Metalle, zusammenstellen. Allein auch noch anderen Körpern kommt eine Stelle in dieser Reihe zu, so allen Metalllegierungen, allen Erzen, welche die Elektrizität noch merklich zu leiten vermögen, vielen Verbindungen der Metalle mit Sauerstoff, Schwefel und Selen, und endlich auch der Kohle. Diese Leiter der Elektrizität, die unter sich die besagte Spannungsreihe bilden, nennt man nach Volta wohl auch „Erreger oder Leiter der ersten Klasse“, und unterscheidet sie von den feuchten Leitern oder den Erregern der zweiten Klasse (Wasser, Lösungen von Säuren, Alkalien und Salzen in Wasser, verschiedene chemische Verbindungen im geschmolzenen oder tropfbar flüssigen Zustande), die zwar in Berührung mit den Metallen eine (oft sehr merkliche) elektrische Differenz bilden, aber doch in der Spannungsreihe der Metalle keine bestimmte Stelle einnehmen (s. Galvanismus S. 309).

Die Elektrizität, welche ein Metall in Berührung mit einem anderen annimmt, und die Stellung, die ihm in der Spannungsreihe der Metalle zukommt, kann man direct mit Hülfe eines Elektrometers, das mit einem Condensator verbunden ist, bestimmen, indem man dabei auf eine Weise verfährt, die im Art. Galvanismus S. 305 ff. beschrieben ist. Gewöhnlich operirte man so, daß man mit einer Condensatorplatte aus Zink, die auf ein Goldblattelektrometer aufgeschraubt war, die verschiedenen Metalle, die man zwischen den Fingern hielt, in Berührung brachte, während man zugleich die obere Condensatorplatte, die von einem beliebigen Metall sein konnte, ableitend berührte. Uebrigens lassen sich die durch die Berührung mit dem Finger herbeigeführten elektromotorischen Verhältnisse, die schädlich einwirken könnten, auch vermeiden. — Früher gebrauchte man zu demselben Behufe auch die Zuckungen präparirter Froischschenkel (Art. Galvanismus S. 312), indem man von den letzteren zwei vermittlest ihrer Muskeln in Berührung brachte, dann den Nerven des einen mit einem, den Nerven des anderen mit einem andern Metalle verband, und den Kreis durch Berührung beider Metalle schloß. Die Zuckung erfolgte nun in der Regel allein oder doch am stärksten an dem Schenkel, dessen Nerv mit dem positiven Metall armirt war, die Zuckung bei der Trennung dagegen, wo sie beobachtet ward, am anderen. Indessen fand

Ritter *), der diese Methode vielfach anwandte, daß nur bei einem gewissen mittleren Verhältniß der Reizbarkeit des Froschpräparats zur Intensität der elektromotorischen Wirkung der geprüften Metalle der angegebene Erfolg sicher erhalten werde. Sehr erhöhte Reizbarkeit des Präparats oder sehr starke Intensität der elektrischen Wirkung könnte dagegen den Erfolg gerade umkehren, so daß die Schließungszuckung vielmehr am negativ armirten Nerven stattfinde.

Ein anderes Mittel zur Bestimmung des elektromotorischen Verhältnisses der Metalle ist die Richtung des elektrischen Stromes, welche sich aus der Ablenkung der Magnetnadel an einem Galvanometer (Multiplicator) erkennen läßt. Man bildet nämlich aus je zwei Metallen nebst einer Flüssigkeit eine einfache galvanische Kette, die man durch das Galvanometer schließt. Die beiden Metalle muß man gleichzeitig in die betreffenden Flüssigkeiten eintauchen. Früher experimentirte man hierbei häufig so, daß man zwischen die beiden zu untersuchenden Metalle eine feuchte Tuch- oder Pappscheibe legte und die Kette schloß, indem man das eine Ende des Multiplicators mit dem einen Metall, das zweite Ende mit dem anderen Metall in leitende Berührung brachte. War nun die Ablenkung schon bekannt, welche die Nadel durch eine ähnliche Kette von Kupfer und Zink erfährt, so war von zwei Metallen, welche die Stelle des Kupfers und Zinks einnahmen, dasjenige, welches an der Stelle des Zinks dieselbe Ablenkung, wie vorher das letztere, hervorbrachte, als positiv, und das andere als negativ elektrisch zu betrachten. Eine Ablenkung der Nadel im entgegengesetzten Sinne deutete dagegen auf ein entgegengesetztes elektrisches Verhalten der beiden betreffenden Metalle. Diese Methode ist zwar bequem und bei Anwendung eines geeigneten Multiplicators auch hinreichend empfindlich, aber es ist dabei noch das elektromotorische Verhalten der angewandten Flüssigkeit zu den Metallen zu berücksichtigen, falls nicht die elektrische Differenz beider Metalle im Vergleich zur elektrischen Erregung derselben durch die Flüssigkeit überwiegend ist.

Das elektrische Verhalten einer Flüssigkeit gegen ein Metall **) kann man mit dem Verhalten desselben Metalls gegen eine andere Flüssigkeit schon vergleichen, wenn man zwei unten mit Hollundermark verschlossene Glasröhrchen mit den Flüssigkeiten füllt, und sie in ein mit Wasser gefülltes Gefäß taucht und in die Röhren Drähte oder Streifen des zu untersuchenden Metalls senkt, deren freie Enden mit einem Galvanometer verbunden werden. Da jedoch die elektrische Differenz zweier sich berührenden ungleichartigen Flüssigkeiten nur sehr gering ist (Galvanismus S. 311), so kann man bei diesem Versuche auch die eine Flüssigkeit in eines jener Glasröhrchen und die andere unmittelbar in das Gefäß füllen, während man von den beiden Drähten des betreffenden Metalls den einen in das Röhrchen, den anderen in das Gefäß senkt. Gebraucht man unter sonst gleichen Umständen verschiedene Metalle, so läßt sich aus der Ablenkung der Magnetnadel oder der Richtung des elektrischen Stromes beurtheilen, ob die Contactelektricität der Metalle das Uebergewicht hat oder nicht.

Durch Anwendung dieser Methoden sind nun mehrere Spannungsreihen auf-

*) Gilb. Ann. Bd. XVI. S. 293; Ritter's Beiträge zur näheren Kenntniß des Galvanismus, Bd. II. 3. u. 4. Stück, S. 70 ff. Vergl. auch Heidmann in Gilb. Ann. Bd. XXI. S. 93.

**) S. Art. Galvanismus S. 309 ff.

gestellt worden, deren Abweichendes seinen Grund hat theils in der Verschiedenheit der angewandten Methoden, theils in einer verschiedenen Reinheit der untersuchten Körper. Fremdartige Beimengungen, verschiedener Zustand der Oberfläche, Ungleichheit der Temperatur können die Stellung eines Körpers in der Spannungsreihe verrücken. Ungleichheiten dieser Art können zwischen Stücken eines und desselben Metalles eine elektrische Differenz begründen. Bei sehr hohen Temperaturen tritt fast eine Umkehr in der Ordnung der Spannungsreihe ein; und durch Verbindung mit Sauerstoff oder Schwefel rücken die Metalle dem negativen Ende der Reihe näher. Eine oxydirte Zinkplatte erweist sich negativ gegen eine frisch gekehrte, was auch, nur in geringerem Grade, zwischen einer oxydirten und frischen Kupferplatte stattfindet.

Pfaff *) erhielt durch Versuche mit dem Condensator folgende Spannungsreihe, in welcher die Körper von der positiven nach der negativen Seite hin geordnet sind: Zink, Blei, Cadmium, Zinn, Eisen, Wismuth, Kobalt, Arsenik, Kupfer, Antimon, Platin, Gold, Quecksilber, Silber, Kohle, Glas, Schwefelkies, Kupferglanz, Kupferkies, Bleiglanz, Zinngrauen, Kupfernickel, Arsenikkies, Schwefelmolybdän (Wasserblei), Uranoxydul, Cornisches Zinnerz (Vecherz), Titanoxyd, Graphit, derber Wolfram (eisenhaltiges Scheeloxydul), Schrifsterz (Vergl. von Gold, Silber und Tellur), krystallisirtes Graubraunsteinerz.

Henrici **) fand folgende Reihe: destillirtes Zink, unreines Zink, Blei, Zinn, Antimon, Wismuth, Eisen, Messing, Kupfer, Silber, Quecksilber, Gold, Platin.

Längere Reihen, erhalten durch Combination zu galvanischen Ketten mit Hülfe des Galvanometers, sind auch von Marianini ***) und Pouillet ****) aufgestellt worden. Poggendorff †) erhielt auf diesem Wege, indem er als Flüssigkeit verdünnte Salmiaklösung anwandte, nachstehende Spannungsreihe: Zink, Cadmium, Mangan, Blei, Zinn, Eisen, Stahl, Uran, Messing, Kupfer, Magneteisenstein, Kupfernickel, Kobalt, Wismuth, Antimon, Arsenik, Chrom, Silber, Nickel, Quecksilber, Schwefelkupfer und Schwefelkies, Tellur, Gold, Bleiglanz, Kohle, Platin, Graphit, Manganhypoxyd.

Berücksichtigt man, daß auch die Verührung der Metalle mit Gasen eine elektrische Differenz zur Folge hat (Art. Galvanismus S. 310), so muß man es für wahrscheinlich halten, daß die sämtlichen chemischen Grundstoffe unter sich eine galvanische Spannungsreihe bilden. Es lassen sich nun die nachbenannten Stoffe von der positiven nach der negativen Seite hin so ordnen: Kalium, Natrium, Wasserstoff, Zink, Cadmium, Mangan, Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, Kobalt, Wismuth, Antimon, Arsenik, Chrom, Silber, Nickel, Tellur, Gold, Platin, (Iridium, Rhodium), Kohlenstoff, Schwefel, Sauerstoff ††).

Nimmt man aus der Spannungsreihe drei Metalle heraus, so ist nach dem oben (S. 35) angeführten Gesetze die elektrische Differenz (elektromotorische Kraft)

*) Gehler's phys. Wörterb. Bd. IV. S. 608.

**) Ueber die Electricität der galv. Kette. 1820.

***) Schweigg. Jahrb. Bd. XLIX. LII.

****) Traité de phys. T. I. p. 697.

†) Zhs. 1821. S. 706.

††) Vergl. des Aluminium f. Philosophical Magazine Vol. X. p. 143; Art. Säule, galvanische, S. 639.

der beiden äußeren Metalle gleich der Summe der elektromotorischen Kräfte zwischen dem ersten und zweiten und zwischen dem zweiten und dritten Metall. Boggendorff *) hat nun auch erwiesen, daß, wenn man sich in der angegebenen Weise die Metalle vom positivsten zum negativsten geordnet denkt und aus der Reihe drei herausnimmt, die elektromotorische Kraft der beiden äußeren unter sich gleich ist der Summe der elektromotorischen Kräfte, welche das mittlere mit jedem der äußeren in derselben Flüssigkeit hervorbringt. Die elektromotorische Kraft einer galvanischen Kette ist aber überhaupt gleich der algebraischen Summe aller elektrischen Differenzen, welche aus den Verührungen der verschiedenen Kettenglieder resultiren.

Anknüpfend an das vorerwähnte Gesetz Boggendorff's hat Kohlrausch **) einen Versuch gemacht, die Stellung einiger Metalle in der Spannungsreihe numerisch zu bestimmen. Als Formzeichen für die elektrische Differenz zweier Körper ist ein vertikaler Strich gewählt, der zwischen die neben einander geordneten chemischen Zeichen der Körper gestellt wird. Nimmt man nun irgend drei Metalle, z. B. Zink, Kupfer und Silber, welche mit derselben Flüssigkeit F zu drei Ketten zusammengesetzt sind, und denkt man sich diese Flüssigkeit von der Art, daß jedes der Metalle durch ihre Verührung negativ wird, so bestehen, wenn man vom positiven Metall in der Richtung des Stromes die Erregung aufzählt, die drei elektromotorischen Kräfte dieser drei Ketten aus folgenden Größen:

$$\text{Zink-Kupfer-Kette} + \text{Zn} | F - F | \text{Cu} + \text{Cu} | \text{Zn} = a$$

$$\text{Kupfer-Silber-Kette} + \text{Cu} | F - F | \text{Ag} + \text{Ag} | \text{Cu} = b$$

$$\text{Zink-Silber-Kette} + \text{Zn} | F - F | \text{Ag} + \text{Ag} | \text{Zn} = c$$

Wenn man nun die beiden linken Seiten der beiden ersten Gleichungen addirt, so fällt $F | \text{Cu}$ aus der Summe weg und man erhält die linke Seite der dritten Gleichung, sobald man $\text{Cu} | \text{Zn} + \text{Ag} | \text{Cu} = \text{Ag} | \text{Zn}$ setzt. Dasselbe ergibt sich, wenn man annimmt, daß Silber z. B. würde durch Verührung mit der Flüssigkeit positiv. Man hat dann die Gleichungen:

$$+ \text{Zn} | F - F | \text{Cu} + \text{Cu} | \text{Zn} = a$$

$$+ \text{Cu} | F + F | \text{Ag} + \text{Ag} | \text{Cu} = b$$

$$+ \text{Zn} | F + F | \text{Ag} + \text{Ag} | \text{Zn} = c$$

Wie auch das Verhalten der Flüssigkeiten zu den Metallen gewählt werden mag, immer ist die elektromotorische Kraft einer Kette die algebraische Summe aller in ihr vorkommenden elektrischen Differenzen. Nun ist nach den directen Messungen, die Boggendorff bezüglich der elektromotorischen Kraft vorgenommen hat, allemal wirklich $a + b = c$, worin man einen directen Zahlenbeweis für das Gesetz der Spannungsreihe sehen kann. Indessen bemerkt Kohlrausch, daß man durch Boggendorff's Versuche der Kenntniß von der Stellung der Metalle in der Spannungsreihe wenig näher komme, da das sehr verschiedene Verhältniß zwischen a , b und c , wenn bei denselben Metallen andere Flüssigkeiten gewählt werden, zur Genüge darthue, daß ein beträchtlicher Theil der elektromotorischen Kraft von der Verührung mit der Flüssigkeit herrühre, und man durch solche Versuche immer weniger Gleichungen erhalte, als unbekannte in ihnen vorkommen, weshalb die Rechnung hier im Stiche lasse.

*) Ann., neue Folge Bd. X. S. 60.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 1.

Kohlrausch *) brauchte nun eine von der gewöhnlichen abweichende Methode, um die elektrischen Differenzen der Metalle ohne Anwendung von Flüssigkeiten mittelst des Condensators zu vergleichen. Der nächste Weg, der sich zu diesem Behufe darbietet, ist der, daß man aus den verschiedenen Metallen Condensatoren von genau gleichen Dimensionen und genau gleicher condensirender Kraft construirt; die Ladungen, welche durch Verbindung der Platten mittelst eines in die Spannungsreihe gehörigen Körpers, also z. B. eines Drahtes, entstehen, werden den elektrischen Differenzen der angewandten Metalle proportional sein; und diese Differenzen könnten durch ein hinreichend genaues Elektrometer mit einander verglichen werden. Es ist aber sehr schwierig, wenn nicht unmöglich, zwei verschiedene Condensatoren zu bauen, bei welchen die isolirende Schicht genau dieselbe ist. Man kann jedoch durch Rechnung zum Ziele gelangen, wenn auch die condensirenden Kräfte der verschiedenen Condensatoren nicht gleich sind, sobald man nur das Verhältniß dieser Kräfte kennt. Könnte man alle Condensatoren mit derselben ganz unveränderlichen Elektrizitätsquelle so laden, daß die verschiedene Natur der Platten auf die Ladung keinen Einfluß ausübte, so besäße man in der Stärke dieser Ladungen ein vergleichendes Maas für die condensirenden Kräfte der verschiedenen Instrumente. Da es aber beim Contact keinen indifferenten Leiter giebt, so muß man die constante Elektrizitätsquelle in zwei Combinationen so benutzen, daß die aus der verschiedenen Natur der metallischen Condensatorplatten entspringenden Modificationen der Ladung eliminiert werden können. Dies geschieht nun nach Kohlrausch auf folgende einfache Weise.

Man verbindet mit dem Condensator eine Elektrizitätsquelle k in der Art, daß man den Pol, welcher positive Elektrizität liefert, durch in die Spannungsreihe gehörige Körper mit der positiveren Platte, den andern mit der negativeren verknüpft. Der Condensator erhält dann eine Ladung, welche der Elektrizitätsquelle $k + d$ entspricht, wenn d die elektrische Differenz der beiden Metalle vorstellt, aus denen der Condensator besteht. Wenn man in der umgekehrten Weise verknüpft, so bekommt man eine Ladung, welche der Elektrizitätsquelle $k - d$ angehört. Beide Ladungen sind, als an demselben Condensator entstanden, der Kraft ihrer Elektrizitätsquellen proportional, also durch das Elektrometer vergleichbar. Hat nun das letztere für die erste Ladung den elektrischen Werth a , für die zweite den Werth b gegeben, so wird die Elektrizitätsquelle k zu der elektrischen Differenz d sich verhalten wie $\frac{a + b}{2}$ zu $\frac{a - b}{2}$. In Folge einer Veränderung

der condensirenden Kraft des Condensators, indem man den isolirenden Zwischenraum größer oder kleiner macht, würde man zwei andere Zahlen a und b erhalten, das Verhältniß $a + b$ zu $a - b$ jedoch immer dasselbe werden. Da der berechnete Werth $\frac{a - b}{2}$ auch direct vom Elektrometer geliefert wird, wenn die Condensatorplatten unter Hinweglassung der Quelle k unmittelbar durch einen Draht verbunden werden, so ist derselbe einer Controle fähig. Stimmen die beiden Werthe von d nicht überein, so ist dies ein Zeichen, daß störende Einflüsse bei den Versuchen stattfanden.

*) a. a. O. S. 4.

Als constanter Elektrizitätsquelle, deren Natur übrigens für diese Methode gleichgültig ist, bedient man sich einer Hydro-Kette. Hätte nun die Quelle k durch alle Zeiten dieselbe unveränderliche Kraft, so brauchte man nur in der bezeichneten Weise nach und nach die elektrischen Differenzen der Metalle mit dieser Kraft zu vergleichen und zuletzt alle gewonnenen Zahlen auf dieselbe Einheit zu bringen, also z. B. das jedesmalige d durch die von demselben Condensator für k gelieferte Zahl zu dividiren. Weil es aber keine so constante Hydro-Kette giebt, so muß man immer zwei Condensatoren gleichzeitig nebeneinander beobachten. Man kann es nämlich leicht dahin bringen, daß eine constante Kette sich nur sehr langsam und allmählig ändert. Es seien nun in einem Condensator eine Zink- und eine Kupferplatte, im anderen die Metalle M und M' ; man macht dann die bezeichnete Reihe von Messungen nicht erst an einem Condensator fertig und hierauf am anderen, sondern man mißt alternirend an beiden. Alsdann erstrecken sich die etwaigen Veränderungen von k gleichmäßig auf beide Condensatoren, und der entstehende Fehler eliminirt sich fast vollständig. Man kann dies aus der Form der Rechnung ersehen. Der erste Condensator liefert nämlich: $k : \text{Zn} | \text{Cu} = \frac{a+b}{2} : \frac{a-b}{2}$, der zweite: $k : M | M' = \frac{a'+b'}{2} : \frac{a'-b'}{2}$, woraus folgt:

$$M | M' : \text{Zn} | \text{Cu} = \frac{a+b}{a'+b'} : \frac{a-b}{a'-b'}$$

oder, wenn man die elektrische Differenz zwischen Zink und Kupfer gleich 1 setzt:

$$M | M' : \text{Zn} | \text{Cu} = \frac{(a+b)(a'-b')}{(a'+b')(a-b)} : 1.$$

Wird nun durch Wiederholung des Versuches an jedem Condensator zweimal gemessen, d. h. einmal an jeder seiner Platten, so werden a , a' , b und b' allemal aus dem Mittel von zwei Bestimmungen gefunden, und man eliminirt für die letzte Gleichung den aus einer gleichförmigen Veränderung der Kette entstehenden Fehler, wenn man die erste und vierte Messung zur Bestimmung von a , die zweite und dritte zur Bestimmung von a' wählt und es dann bei b und b' eben so macht.

In Hinsicht auf die praktische Ausführung dieser Methode verweisen wir auf die angezeigte Abhandlung *). Später wiederholte Kohlrausch diese Versuche mit Condensatorplatten, die unmittelbar vor dem Versuche gereinigt waren, was zu einer Berichtigung der früher gefundenen Zahlen führte **). Die erhaltenen Resultate entsprechen dem Gesetze der Spannungsreihe. Eine genauere Bestimmung der Zahlen möchte, wie Kohlrausch bemerkt, schwerlich einen praktischen Zweck haben, namentlich da das Theoretische ziemlich versichert erscheine. Bezüglich der edlen Metalle ergab sich, wenn die elektrische Differenz zwischen Zink und Kupfer gleich 100 gesetzt wird, im Mittel für Zink und Silber 109, für Zink und Gold 115, für Zink und Platin 123.

Was den Einfluß chemischer Beimischungen betrifft, so hat sich im Allgemeinen das Resultat ergeben, daß ein elektropositiver Körper, je mehr er sich mit einem auf der negativen Seite stehenden Körper verbindet, um so weiter in der

*) a. a. O. S. 8.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 464.

galvanischen Spannungsreihe herabrückt. Es gehört zu den bekannten Thatsachen, daß oxydirtcs Metall stets negativer als blankes Metall ist. In welchem Grade die Negativität durch den Sauerstoff erhöht wird, davon giebt das Manganhyperoxyd, eine Verbindung von Mangan mit viel Sauerstoff, ein Beispiel. Dasselbe nimmt fast die tiefste Stelle in der elektrischen Reihenfolge ein, während das reine Mangan eine der obersten Stellen behauptet. Auch viele Verbindungen der Metalle mit Schwefel, Kohle und Phosphor stehen tiefer oder mehr nach der negativen Seite hin, als die entsprechenden Metalle. Es ist nun dem eben erörterten Resultate entsprechend, daß die Verbindung eines Körpers mit einem positiveren die Positivität des ersteren erhöht oder denselben in der Spannungsreihe hinaufrückt. — Was die Amalgame (Verbindungen der Metalle mit Quecksilber) betrifft, so hat sich im Allgemeinen ergeben, daß nicht nur die Amalgame solcher Metalle, welche negativer als Quecksilber sind, gegen das reine Metall sich positiv verhalten, so das Goldamalgam positiv gegen reines Gold, sondern auch, daß Zink-, Zinn-, Bleiamalgam zc. sich positiv gegen Zink, Zinn, Blei zc. verhalten. Ähnliches kommt auch bei den Legirungen anderer Metalle unter einander vor. Aus den Versuchen Pouillet's in Bezug auf die Legirungen folgt, daß die Schristgicßermischung (eine Verbindung von 1 Th. Antimon und 4 Th. Blei), das Messing und die Legirung aus 2 Th. Eisen und 1 Th. Antimon in der Reihenfolge zwischen die Metalle fallen. Eine große Anzahl von Legirungen fallen aber theils über, theils unter ihre Bestandtheile. Viele Versuche über die Verjeßungen in der galvanischen Spannungsreihe, welche besonders Quecksilber, Zinn und Zink durch Legirung mit anderen Metallen erfahren, sind von Ritter *) angestellt worden.

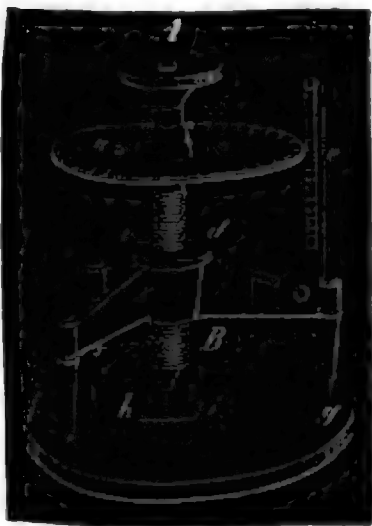
Bezüglich der thermoelektrischen Spannungsreihe siehe den Art. Thermoelectricität.

Specifisches Gewicht, s. Gewicht.

Specifische Wärme, s. Wärme.

Spectrum, s. Farbe.

Sphärometer ist ein Instrument, das zur Messung der Dicke sehr dünner Platte, Plättchen, Drähte zc. dient. Dasselbe gehört eigentlich in die Klasse der Schraubenmikrometer (s. d. Art. Mikrometer, Bd. IV. S. 1032 ff.). Das von Cauchoir in Anwendung gebrachte Sphärometer hat nachstehende Einrichtung **). AB ist eine feine Schraube, die mit einer am Umfange gewöhnlich in 100 gleiche Theile getheilten Scheibe a versehen ist. Die runde Platte cd enthält die Schraubenmutter und ruht auf drei gleich hohen unten stumpfen Füßen, deren Enden aus Stahl bestehen. An der Seite der Scheibe befindet sich ein verticales Metallstück e, das als unbeweglicher Index für die Theilung des Schraubenkopfes a dient, auch selbst der Länge nach in Linien oder Millimeter getheilt ist, und gleichsam einen Maßstab vorstellt,



*) Gilbert's Ann. Bd. XVI. S. 301.

**) Journ. de Phys. T. VII. p. 484. Biot, Traité de Phys. T. IV. p. 343.

dessen Theilung der Weite der einzelnen Schraubengänge entspricht. *fg* ist ein flaches Postament, in welches eine vollkommen ebene Glasplatte eingelassen ist, auf welche die Füße der Schraubenmutter zu stehen kommen. *hi* ist eine zweite bewegliche, gleichförmig dicke Glasplatte. Will man nun dieses Instrument zur Bestimmung der Dicke eines Plättchens *ic.* benutzen, so muß man den Werth eines Schraubenganges genau kennen. Diesen erhält man aber, wenn man die Schraube mehrere Male umdreht, bis sie sich um eine bestimmte Größe (Länge), die man genau messen kann, vor- oder rückwärts gehoben hat, und diese dann durch die Anzahl der Umdrehungen, Bruchtheile mit eingerechnet, dividirt. Wäre nun die Weite eines Schraubenganges gleich 1 Millimeter, so würde die Schraube bei einer vollen Umdrehung um 1 Millimeter, und bei $\frac{1}{100}$ Umdrehung, was einer Bewegung des Schraubenkopfes *a* um 1 Theilstrich entspricht, um $\frac{1}{100}$ Millimeter gehoben oder gesenkt werden. Beim Gebrauche dieses Instrumentes dreht man nun die Schraube so lange, bis die Spitze derselben mit den drei Füßen in einer Ebene liegt oder die Glasplatte gerade berührt. Hierauf notirt man die Stellung an dem Schraubenkopf *a* und der verticalen Scale. Alsdann dreht man die Schraube aufwärts, legt das zu messende Plättchen unter dieselbe und schraubt sie wieder abwärts, bis ihre Spitze das Plättchen berührt. Sieht man nun wieder auf den Schraubenkopf und auf die Scale *e*, und ermittelt die Differenz im Stande der Schraube (in beiden Stellungen), so erhält man die Dicke des Plättchens. Handelt es sich um die Dicke dünner Krystallplättchen (Plättergyps *ic.*), in welche die Spitze der Schraube leicht eindringen könnte, so kann man von dem oben erwähnten Glasplättchen *hi* Gebrauch machen, indem man dieses auf das auszumessende Plättchen legt, und wie vorher verfährt, zieht aber nachher von der gefundenen Dicke die der Platte *hi* ab.

Um die Spitze der Schraube sicher und leicht mit der Bodenplatte oder den Plättchen in Verührung zu bringen, kann man nach Baumgartner *) so verfahren, daß man mit den Fingern zwei Füße des Instrumentes sanft auf die Bodenplatte drückt, damit sie fest auf der Bodenplatte ruhen, und dann mäßig mit einem Finger auf den dritten aufklopft. So lange die Schraubenspitze über die Ebene der Endpunkte der drei Füße nur um ein geringes hervorragt, hört man während des Klopfs ein Klappern, das beim Rückwärtsdrehen der Schraube allmählig ganz verschwindet. Hat man es nun dahin gebracht, daß das mindeste Vorwärtsschieben der Schraubenspinde dieses Klappern wieder erzeugt, so kann man wohl annehmen, daß das Schraubenende und die Endpunkte der drei Füße in derselben Ebene liegen oder daß jene die Platte berührt.

Man hat das Sphärometer auch vielfach benutzt, um die Gestalt der Linsengläser zu bestimmen. Bewegt sich das Sphärometer mit seinen vier Enden auf einer krummen Oberfläche, z. B. auf einer Kugelfläche, so werden dieselben diese Fläche stets berühren, obwohl sie nicht in einer Ebene liegen, was bei einer Bewegung auf einer ebenen Fläche allerdings stattfindet.

Spiegel nennen wir jede Fläche, welche das auffallende Licht so zurückwirft, daß durch die reflectirten Strahlen Bilder der das Licht ausSENDENDEN Gegenstände erzeugt werden. Dies bedingt, daß die reflectirten Strahlen nicht bloß nach

*) Supplemente. Bd. VIII. S. 30.

einem bestimmten Gesetze von der reflectirenden, spiegelnden Fläche zurückgehen, sondern auch daß im Allgemeinen die Lage der reflectirten Strahlen ähnlich ist der Lage der einfallenden. Es muß also die Lage der einzelnen Punkte der reflectirenden Fläche, wenn sie spiegeln soll, derartig sein, daß die von einem bestimmten Punkte des Gegenstandes auffallenden Lichtstrahlen in einer bestimmten Richtung in das Auge des Beobachters zurückgehen und die von den nebenliegenden Punkten reflectirten Strahlen zu diesen dieselbe Lage haben wie in den einfallenden oder in ihrer Richtung eine regelmäßige Veränderung erleiden. Da nun das Reflexionsgesetz (s. Art. Optik, Bd. V. S. 97 und Licht, Bd. IV. S. 523) lautet: 1) der reflectirte Strahl liegt mit dem Einfallsstrahle und dem Einfallslothe in derselben Ebene, 2) der Reflexionswinkel ist gleich dem Einfallswinkel, so ist eine Erzeugung von Bildern nur an glatten Oberflächen möglich. Insofern es aber bei der Spiegelung sich nur um die reflectirten Lichtstrahlen handelt, so folgt, daß im Allgemeinen nur undurchsichtige Körper spiegelnde Oberflächen haben können. Durchsichtige Körper lassen das auf sie fallende Licht hindurch, raue Körper zerstreuen dasselbe und die reflectirten Strahlen erfüllen bei ihnen in ihrer gegenseitigen Lage mithin die zur Erzeugung von Bildern erforderlichen Bedingungen nicht.

Wenn eine spiegelnde Fläche undurchsichtig sein muß, so eignen sich die Metalle am besten zur Herstellung von Spiegeln, zumal dieselben eines hohen Politurgrades fähig sind. Man wendet dergleichen Spiegel indessen in der Regel nur bei gewissen Instrumenten, nicht leicht im gemeinen Leben an, weil sie kostbar sind und durch Oxidation leicht verderben, so daß sie wenigstens nach kurzer Zeit schon blind zu werden pflegen. Der Spiegel in Herschel's Riesenteleskope wurde in einer einzigen Nacht verdorben. Im gemeinen Leben bedient man sich gewöhnlich der Glaspiegel. Es scheint dies mit dem oben Ausgeführten im Widerspruche zu stehen; indessen wenn man eine ebene, durchweg gleich dicke Glasplatte auf der einen Seite undurchsichtig macht, so werden die Lichtstrahlen, welche die durchsichtige Seite durchdringen, wegen der Parallelität der beiden Flächen (s. Artikel Brechung des Lichtes, Bd. I. S. 875) in ihrer Richtung nur je nach der Dicke des Glases verschoben und nach der Reflexion auf der undurchsichtigen hinteren Seite bei ihrem Austreten auf der vorderen Fläche in derselben Lage zu einander sich befinden, als ob nur Reflexion stattgefunden hätte. Allerdings zeigen die Glaspiegel darin einen oft störenden Nachtheil, daß nicht nur die Hinterfläche, sondern auch die durchsichtige Vorderfläche Spiegelbilder liefert; bei nicht zu großer Dicke des Glases fallen die beiden Bilder jedoch nahe an einander, so daß in der Regel nur das eine Bild wahrgenommen wird, wenn ihre Flächen über einander zu liegen kommen. Bei sehr schrägem Einfallen der Lichtstrahlen, wenn man z. B. eine Kerzenflamme nahe an einen Glaspiegel stellt und seitwärts unter möglichst schräger Richtung in den Spiegel blickt, bemerkt man die beiden Bilder nicht nur ganz entschieden, sondern in der Regel durch die wiederholte Reflexion eine ganze Reihe von Bildern der Flamme. Alle durchsichtigen Körper mit einer glatten Vorderfläche und einer ebenfalls glatten Hinterfläche geben zwei schwache Bilder, indem eines von den Strahlen gebildet wird, welche von der Vorderfläche ausgehen, das andere von denjenigen, welche von der Hinterfläche reflectirt werden, da bei dem Durchgange des Lichtes durch durchsichtige Körper, weil sie nie vollkommen durchsichtig sind, sowohl beim Eintreten, als

Austritten ein Theil des Lichtes reflectirt wird. Sehr durchsichtiges, also sehr weißes Glas würde zu Spiegeln völlig unbrauchbar sein, wenn man nicht die Hinterfläche undurchsichtig machte. Geschieht dies durch Mattschleifen, so giebt nur die Vorderfläche ein deutliches Bild, da die Hinterfläche raub geworden ist; bedeckt man die Hinterfläche mit einem schwarzen Körper oder mit schwarzer Farbe, so erhält man zwei Bilder, von denen das der Hinterfläche das mattere ist; belegt man endlich die Hinterfläche mit Metallfolie, so erhält man wieder zwei Bilder; das der Hinterfläche, welches eigentlich das Metall zurückwirft, ist aber weit heller, als das der Vorderfläche und wird vorzugsweise wahrgenommen. Ein Beweis dafür, daß das hellere Bild im letzteren Falle in der That von der Hinterfläche herrührt, liegt auch darin, daß die Färbung des Glases — z. B. grünes Glas — auf die Farben des Bildes von Einfluß ist. Würde nämlich das Bild an der Vorderfläche gebildet, so würden genau eben so gefärbte Lichtstrahlen zurückgeworfen werden müssen, als darauf fallen, aber beim Durchgange durch das Glas geschieht analog dessen Färbung eine Veränderung in der Färbung der Lichtstrahlen (vergl. Art. Farbe, Bd. III. S. 40). Was wir eben von dem Glase angeführt haben, daß und warum es sich zu Spiegeln eignet, gilt mehr oder weniger auch von anderen durchsichtigen Körpern, selbst von Flüssigkeiten, wenn ihre Oberfläche nur stillsteht und ruhig ist. Man sieht nicht nur den Mond in einer ruhigen Wasserfläche sich spiegeln, sondern auch alle an dem Ufer stehenden Gegenstände, wie überhaupt Alles, was Strahlen auf dieselbe sendet. Selbst dicker Nebel erzeugt eine Spiegelung, wenngleich nur unvollkommen. Man öffne z. B. bei dickem Nebel ein Fenster und stelle ein Licht in dasselbe, so wird man das Licht sich spiegeln sehen. In dunstigen Zimmern kann man sein eigenes Bild bisweilen sehen. Einen sehr guten Spiegel giebt eine Quecksilberfläche. Man wendet eine solche namentlich da an, wo es darauf ankommt einen genau horizontalen Spiegel zu haben, z. B. bei Bestimmung der Sonnenhöhe mittelst des Sextanten. Ein hölzernes Kästchen von etwa 6 Zoll Seite im Quadrat und etwa 2 Linien Tiefe reicht hierzu vollkommen aus.

Um Glas Spiegel mit Folie zu belegen, benetzt man Zinnfolie mit Quecksilber, reibt sie mit einem Hasenlaufe oder bloß mit den Fingern, um Amalgamirung zu bewirken, legt dann Fließpapier darauf und über dieses eine reine und trockne Spiegelplatte. Hierauf entfernt man durch langsames Beziehen des Papiers den Schmutz vom Quecksilber und drückt die Glasplatte fest an. Das Amalgam hängt dann am Glase fest und der Spiegel ist fertig.

Metallspiegel würden um so besser sein, je härter das Metall ist. Angelassener Stahl giebt sehr gute Spiegel, aber seiner Anwendung steht die leichte Oxidirbarkeit entgegen. Die Spiegel in den Spiegelteleskopen sind gewöhnlich aus Metallcompositionen gefertigt, bei denen Kupfer und Zinn die Hauptbestandtheile ausmachen, z. B. aus 64 Theilen Kupfer und 29 Th. Zinn, oder 32 Th. Kupfer und 15 Th. Zinn, oder 1 Th. Messing und 1 Th. Arsenik. Noch einmal so viel Kupfer als Zinn soll ganz vorzügliches Spiegelmetall geben. Edwards *) schreibt vor, man solle 32 Unzen Kupfer und 15 Unzen Zinn, beide Metalle von vorzüglicher Reinheit, zusammenschmelzen, dann von dieser Com-

*) Gilb. Ann. Bd. XII. S. 167.

position einen Theil mit noch etwas Zinn in verschiedenen Quantitäten versehen, um die beste Mischung aufzufinden, die man hernach für den eigentlichen Guss wählt, indem man der bereits geschmolzenen und erkalteten Masse bei einer zweiten Schmelzung den noch erforderlichen Antheil Zinn und zuletzt erst den Arsenik zusetzt, von welchem man, da sich ein großer Theil verflüchtigt, etwas mehr nehmen kann. Auch ein Zusatz von Silber soll vorthellhaft sein. Da die edlen Metalle zu weich sind, so macht man aus ihnen in der Regel keine Spiegel. Die Spiegel zur Wärmeresflexion sind bisweilen versilbert; Glaspiegel kann man in diesem Falle wegen der großen Absorption der Wärme durch das Glas nicht verwenden. Die Metallspiegel werden erst gegossen, dann geschliffen und zuletzt sorgfältig polirt.

Da bei dem Uebergange eines Lichtstrahles aus einem dichteren Mittel in ein dünneres der Winkel, welchen der Lichtstrahl mit dem Einfallslothe bildet, wächst, sein Sinus aber nicht größer als 1 werden kann, so findet eine Grenze für den Einfallswinkel statt. Wird dieser Grenzwinkel überschritten, so tritt totale Reflexion ein (s. Art. Brechung des Lichtes, Bd. I. S. 874). Auch hiervon hat man Anwendung gemacht und z. B. Prismen wie Spiegel verwendet (s. Art. Camera lucida, Bd. I. S. 929), namentlich wenn die Umkehrung eines Bildes zu Stande gebracht werden soll (s. Art. Camera obscura, Bd. I. S. 934).

Am frühesten waren Metallspiegel im Gebrauch *), dann auch Spiegel von Chilian. Raymondus Lullus, gest. 1315, beschreibt das Verfahren, Glas durch hintergelegtes Blei zum Spiegel zu machen. Größere Glas tafeln soll zuerst Abraham Ihe wart 1688 in Frankreich angefertigt haben. Auf die Anfertigung von Metallspiegeln verwendete man viel Sorgfalt, als die Spiegelteleskope in Aufnahme kamen (s. Art. Fernrohr, Bd. III. S. 105 u. 109).

Wenn die Spiegel vollkommen glatt, ohne irgend welche Erhöhungen und Vertiefungen wären, so würden die Spiegel alles auf sie fallende Licht zurückwerfen und daher Bilder geben, welche an Helligkeit den gespiegelten Gegenständen vollkommen gleich wären. Ein guter ebener Spiegel müßte die Täuschung hervorbringen, als ob an seiner Stelle eine Oeffnung wäre, durch welche man in einen Raum sehe, in welchem die Bilder als reelle Objecte sich befänden. Dies ist jedoch niemals der Fall und man nimmt an, daß bei Glaspiiegeln von mittelmäßiger Güte 0,4816 des auffallenden Lichtes verloren gehe, bei der besten 0,3494. Daher wird das Bild des Spiegels immer minder hell als das Object und läßt man das Bild nach einander mehrmals durch Spiegel reflectirt werden, so verschwindet das Object je mehr und mehr mit dem Hinzukommen jedes neuen Spiegels. Daß das Licht auch in die Metalle eindringt, geht schon daraus hervor, daß viele in möglichst dünnen Plättchen durchsichtig werden **), weshalb auch bei Metallspiegeln ein Lichtverlust nothwendig eintreten muß.

*) Bibel, Buch Hiob. Cap. 37. V. 18. Plinii hist. nat. lib. XXXIII. ep. 9; lib. XXIV. ep. 27; lib. XXXVI. ep. 26.

**) Vergl. mehrere Metallniederschläge in der Abhandlung Knoblauch's über den Einfluß, welchen Metalle auf die strahlende Wärme ausüben. Pogg. Ann. Bd. CI. S. 161.

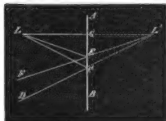
Brewster *) erklärt aus dem letzteren das Phänomen eines chinesischen Spiegels.

Derselbe bestand aus einer Composition von Zinn und Kupfer (chines. Silber) und hatte auf der Rückwand Figuren. Ließ man Sonnenstrahlen von seiner polirten Vorderfläche reflectiren und auf eine Wand fallen, so erschien auf dieser ein deutliches Bild der auf der Rückwand befindlichen Figuren. Nach Brewster wurde jedoch das Bild nicht von den Figuren erzeugt, sondern diese waren nur angebracht, um bei der Untersuchung auf eine falsche Spur zu leiten. Die Bilder sind vielmehr eine Copie der Zeichnung, welche der Künstler auf der Vorderseite des Spiegels aufgetragen und durch Schleifen so versteckt hat, daß sie im gewöhnlichen Lichte unsichtbar ist und nur im Sonnenlichte hervortritt. Will man z. B. einen Drachen hervorbringen, so braucht man nur einen solchen auf die bis zur Politur fertige Spiegelfläche mit dünnen Strichen zu graviren, oder, damit nur der möglichst kleinste Theil des Metalles fortgenommen werde, mit einer verdünnten Säure einzuäßen, und dann die Oberfläche stark zu poliren, nicht auf Wech, wie es mit Glas und Spiegeln geschieht, sondern auf Wollenzug, wie man Linsen zuweilen polirt. Auf diese Weise werden die vertieften Linien eben so stark polirt, als die übrige Fläche und die Figur erscheint nur in sehr starkem Lichte, wenn man Sonnenstrahlen von der Metallfläche reflectiren läßt. Wenn der von der Figur eingenommene Raum mit einer Linie bedeckt oder geätzt ist, so erscheint die Figur auf der Wand dunkel auf hellerem Grunde; ist aber dieser Raum unverletzt gelassen und die übrige Fläche gravirt oder geätzt, so erscheint die Figur hell auf dunklerem Grunde.

Die Spiegel unterscheidet man nach der Art ihrer Oberfläche in ebene und gekrümmte.

A. Ebene Spiegel. Die Gesetze für ebene Spiegel ergeben sich einfach aus dem katoptrischen Grundgesetze oder Reflexionsgesetze, welches wir oben angeführt haben.

Fällt von einem leuchtenden Punkte L (s. beistehende Figur) Licht auf den ebenen Spiegel AB, so wird der Lichtstrahl LC so zurückgeworfen, daß $\angle DCB = \angle LCA$ ist, eben so der Strahl LE so, daß $\angle FEB = \angle LEA$ ist und der Strahl LG, welcher senkrecht auf AB auffallen möge, kehrt in der Richtung GL in sich selbst zurück. Hierbei ist die Einfallsebene in der Fläche des Papiers vorausgesetzt. Die reflectirten Strahlen EF und GL scheinen von einem Punkte L' hinter dem Spiegel auszugehen, der eben so weit hinter dem Spiegel liegt, als der leuchtende Punkt vor demselben sich befindet, da $\triangle GEL'$ mit $\triangle LEG$ gleich bestimmt ist, denn GE ist beiden Dreiecken gemeinschaftlich, $\angle LGE = \angle L'GE$ und $\angle GEL' = \angle GEL$, da jeder von ihnen dem $\angle FEC$ gleich ist. GL' ist also gleich GL. Aus demselben Punkte L' scheint auch der Strahl CD zu

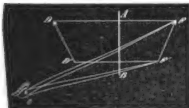


*) Pogg. Ann. Bd. XXVII. S. 485.

kommen, da $\triangle GCL'$ mit $\triangle GCL$ gleich bestimmt ist, und eben dieß gilt von allen Lichtstrahlen, die von dem Punkte L ausgehend auf den ebenen Spiegel AB treffen. Die reflectirten Strahlen scheinen also von einem Punkte auszugehen, welcher eben so weit hinter dem ebenen Spiegel liegt, als der leuchtende Punkt vor demselben sich befindet.

Steht vor einem ebenen Spiegel ein Object, so wird das Licht, welches von jedem einzelnen Punkte desselben auf den Spiegel fällt, nach dem eben ge-

I.



fundenen Resultate zurückgeworfen. Ge-
setzt AB (s. beistehende Fig. I.) sei der
Durchschnitt des Spiegels, DD' das Ob-
ject, O das Auge des Beobachters, so
mache man DA senkrecht auf AB, ver-
längere es um seine eigene Länge, also
daß $AF = DA$ wird. F ist dann der
Punkt des Bildes, welcher dem Punkte
D des Objectes entspricht. Eben so findet
man den Punkt F' des Bildes, welcher D'

zukommt, und in gleicher Weise die den übrigen Punkten entsprechenden Punkte
des Bildes. Das Auge O erblickt also das Spiegelbild FF' eben
so weit hinter dem Spiegel, als das Object vor demselben
steht. Das Spiegelbild ist ferner eben so gegen die Ebene des
Spiegels geneigt, wie das Object; denn die Spiegelebene würde ver-
längert den Winkel halbiren, welchen Bild und Object mit einander bilden. Das
Spiegelbild hat endlich dieselbe Größe wie das Object, d. h. es
erscheint dem Auge unter demselben Winkel, unter welchem ein Auge in derselben
Entfernung hinter dem Spiegel das Object erblicken würde.

Diese Resultate ergeben sich ohne Weiteres aus dem für einen einzelnen leuch-
tenden Punkt gefundenen Gesetze. Eben so folgt zugleich, daß im Spiegelbilde
alles, was am Objecte rechts ist, links wird und umgekehrt, da alle den Ort
des Bildes angehenden Perpendikel in ihren Verlängerungen unter sich parallel
bleiben.

Wenn eine Person in einem Spiegel sich ganz, d. h. vom Kopfe bis zu den
Füßen betrachten will, so muß die verticale (oder die der Person parallele) Pro-
jection des Spiegels wenigstens halb so groß, als die Person sein. — Es sei CD
(s. beist. Fig. II.) die Person, AB der mit ihr parallele Spiegel, so erhält man, wenn

II.



$CA = cA$ und $DB = dB$ ist, überdies
 Ce und Dd senkrecht auf dem Spiegel
stehen, das Bild cd von derselben Größe
wie CD und dem Spiegel ebenfalls parallel.
Zieht man nun von dem Auge O der Per-
son nach c und d Strahlen, so schneiden
diese den Spiegel in a und b . Will die
Person ihr Bild vollständig sehen, so ist
offenbar nur das Spiegelstück ab nöthig;

dieß ist aber, da $CA = cA$ ist, nur halb so groß als cd , also auch nur
halb so groß als CD .

Bildes und Objectes einander zugekehrt sind. Die Lage des Bildes und Objectes bleibt also dieselbe zum Spiegel, nur die Stellung ist umgekehrt. Hierher gehört die Spiegelung der Gegenstände an einer ruhigen Wasserfläche. — Ist der Spiegel unter 45° gegen den Horizont geneigt, so giebt ein horizontales Object ein verticales Bild, z. B. ein Guckkasten, ein verticales Object ein horizontales Bild.

Daß die Spiegel, welche man außerhalb der Fenster anbringt, um zu sehen, was auf der Straße vorgeht, hierher gehören, bedarf kaum der Bemerkung. Die Stellung kann sehr verschieden sein, weshalb diese Spiegel gewöhnlich verstellbar eingerichtet sind.

Bringt man über einer schiefen Ebene einen Spiegel so an, daß er den Winkel halbt, welchen die schiefe Ebene mit der nach aufwärts verlängerten Höhe derselben bildet, und läßt man Kugeln auf der schiefen Ebene herablaufen, so bewegt sich ihr Bild im Spiegel vertical in die Höhe und zwar mit zunehmender Geschwindigkeit. Nennt man den Winkel, welchen die Richtung des Spiegels mit der Verticalen oder der Höhe der schiefen Ebene bildet, x , den Neigungswinkel der schiefen Ebene a , so ist $x = \frac{90 + a}{2}$. Sind Spiegel und schiefe Ebene so

in einem Kasten eingeschlossen, daß das durch ein Rohr auf den Spiegel gerichtete Auge nur das Spiegelbild erblickt, so zeigt sich der überraschende Anblick einer mit beschleunigter Geschwindigkeit aufwärts steigenden Kugel.

Zwei einander parallel gegenüberstehende ebene Spiegel spiegeln sich einer in dem anderen, und wiederum jedes Bild des einen im anderen, so daß derartige Spiegel ihr eigenes Bild in der That unendliche Male wiedergeben. Dasselbe ist der Fall mit einem zwischen beiden Spiegeln befindlichen Objecte. Man würde dieses wirklich unzählige Mal wahrnehmen, wenn nicht endlich die Bilder bei dem mit jeder Reflexion zunehmenden Lichtverluste zuletzt so dunkel würden, daß man sie nicht mehr wahrzunehmen vermag.

Die Wirkung gegen einander geneigter Spiegel auf ein zwischen ihnen befindliches Object hat Anwendung gefunden in dem Kaleidoskope. In dem Artikel Kaleidoskop, Bd. IV. S. 185 ist der Hergang vollständig dargelegt und verweisen wir deshalb hier auf denselben. Es sei hier nur noch erwähnt, daß die Spiegelzimmer, Spiegelsäle und Spiegellasten sich auf die Gegenstellung von Spiegeln gründen. Will man in zwei einander gegenüberstehenden Spiegeln sich gleichzeitig von vorn und hinten sehen, so müssen diese unter einem Winkel zu einander geneigt sein, da sonst der Körper die von dem einen Spiegel zum andern gehenden Strahlen aufhält.

Als Beispiel eines Spiegellastens führen wir folgendes an. Man verfertige einen pappenen Kasten in Gestalt eines vielseitigen senkrechten Prismas und theile denselben durch Diagonalwände, welche sich alle in der Axe des Prismas schneiden, in so viele dreieckige Zellen ab, als das Prisma Seitenflächen hat. Diese Diagonalwände überlege man auf beiden Seiten mit Spiegelglas, bohre in die Seitenflächen Löcher, durch welche man in die Zellen sehen kann, bringe in jede Zelle einen einzelnen Gegenstand und bedecke den Kasten oben mit dünnem durchsichtigen Zeuge, damit Licht hineinfalle. Alsdann erblickt man durch jedes Loch einen Schauplay eben so groß, als den ganzen Kasten, welcher jedoch jedes Mal mit anderen Gegenständen erfüllt ist.

Anwendungen von ebenen Spiegeln finden sich bei dem Goniometer (Vd. III. S. 631), Helioskop (Vd. III. S. 782), Heliotrop (Vd. III. S. 787), Diploidoskop (Vd. II. S. 534) u. s. w.

Größere Spiegel sind wohl nie vollkommen eben. Sind dieselben in der Richtung von unten nach oben conver, so erscheint das Bild in die Breite gezogen, weil die Höhe verkürzt ist; sind sie von rechts nach links conver, so wird die Breite verkürzt, und das Bild erscheint in die Länge gezogen. Der Spiegel wirkt dann nämlich in den angegebenen Richtungen wie ein Converspiegel, worüber im Folgenden das Nähere angegeben ist.

B. Gekrümmte Spiegel. Es versteht sich von selbst, daß es eine unendliche Anzahl von verschiedenen gekrümmten Spiegeln geben muß; eine nähere Betrachtung verdienen indessen nur die einfachen gekrümmten, deren Herstellung minder schwierig ist. Die einfachsten gekrümmten Spiegel sind die Kugelspiegel, oder wie man sie gewöhnlich nennt, die sphärischen Spiegel. Ist die Spiegelfläche ein Theil der inneren Oberfläche einer Kugel, so heißt der Spiegel ein *Concav-* oder *Hohl-Spiegel*; ist dieselbe hingegen ein Theil der äußeren Kugelfläche, so ein *Convex-Spiegel*. Die nächst einfach gekrümmten Spiegel sind diejenigen, deren Flächen sich auf die Kegelschnitte zurückführen lassen, die also paraboloidische, ellipsoidische oder hyperboloidische Flächenstücke sind. Außerdem gehören noch zu den einfacher gekrümmten Spiegeln die Cylinderspiegel und Kegelspiegel. Die beiden letztgenannten Arten haben bereits ihre Erleuchtung in besonderen Artikeln gefunden, auf die wir daher verweisen: Cylinderspiegel, Vd. I. S. 1017, Kegelspiegel, Vd. IV. S. 222.

a) Sphärische Spiegel. Nimmt man den Spiegel kreisförmig begrenzt an, wie es gewöhnlich der Fall ist, so nennt man die Linie, welche die Mitte des Spiegels und den Mittelpunkt der Kugel, von welcher der Spiegel ein Stück ist, verbindet, die *Hauptaxe*, jede andere Verbindungslinie eines Punktes der Spiegelfläche mit dem Mittelpunkte eine *Nebenaxe*. Die Mitte des Spiegels nennt man wohl auch den optischen Mittelpunkt, während der Mittelpunkt der Kugel der geometrische heißt. Die *Öffnung* des Spiegels bestimmt man durch den Winkel, welchen zwei Radien der Kugel bilden, die einander gegenüber liegenden Stellen im Rande des Spiegels zugehören.



Hohlspiegel. Es sei ABC der Durchschnitt eines Hohlspiegels, B der optische, M der geometrische Mittelpunkt, also BM die Hauptaxe. Ist L ein leuchtender Punkt auf der Hauptaxe, so fällt ein von demselben ausgehender Strahl in der Richtung der Hauptaxe auf den Spiegel, der in sich selbst reflectirt wird; irgend ein anderer Strahl sei LD, für welchen wir den reflectirten Strahl finden, wenn wir das

Einfallsloth DM ziehen und $\angle FDM = \angle MDL = x$ machen.

Nennen wir $\angle FDM = x$ und $\angle DMB = x$, so ist im Dreieck DML

$$LM \cdot \sin z = (MD + ML \cos z) \operatorname{tgs} x, \text{ also } \operatorname{tgs} x = \frac{LM \cdot \sin z}{MD + LM \cdot \cos z};$$

eben so im Dreiecke DMF

$$MF \cdot \sin z = (MD - MF \cdot \cos z) \operatorname{tgs} x, \text{ also } \operatorname{tgs} x = \frac{MF \cdot \sin z}{MD - MF \cdot \cos z};$$

$$\text{folglich ist } \frac{LM \cdot \sin z}{MD + LM \cdot \cos z} = \frac{MF \cdot \sin z}{MD - MF \cdot \cos z},$$

$$\text{oder } MF = \frac{LM \cdot MD}{MD + 2 LM \cdot \cos z}.$$

Setzen wir $BL = a$, BF (die Entfernung, in welcher der Hauptstrahl von einem reflectirten Nebenstrahle getroffen wird) $= \alpha$ und $MD = r$, so ist

$$r - \alpha = \frac{(a - r) r}{r + 2(a - r) \cos z},$$

$$\text{also } \alpha = \frac{r^2 + 2(a - r) r \cos z - (a - r) r}{r + 2(a - r) \cos z}. \quad (1)$$

Dieser Ausdruck giebt allgemein an, in welchem Abstände von dem optischen Mittelpunkte das Bild des leuchtenden Punktes entsteht. Da in dieser Formel jedoch z noch vorhanden ist, so folgt daraus, daß je nach der Größe dieses Winkels, d. h. je nach der Entfernung des Einfallspunktes D von dem optischen Mittelpunkte B die Lage des Bildes eine verschiedene ist. Sollten sich alle von L ausgehenden Strahlen nach ihrer Reflexion von dem Spiegel in einem Punkte vereinigen, so müßte z ohne Einfluß sein. Dies wird möglichst erreicht, je kleiner z wird; setzen wir daher $z = 0$, so erhalten wir

$$\alpha = \frac{ar}{2a - r}. \quad (2)$$

Diese Formel (2) gilt also für die Stelle des Bildes eines leuchtenden Punktes auf der Hauptaxe, so lange die Strahlen nur möglichst nahe an dem optischen Mittelpunkte auffallen, d. h. so lange der Spiegel ein möglichst kleines Stück einer möglichst großen Kugel ist. Ist der leuchtende Punkt in einer möglichst großen Entfernung, so daß r gegen $2a$ vernachlässigt werden kann, so wird

$$\alpha = \frac{1}{2} r = f.$$

In solchem Falle liegt also das Bild gerade in der Mitte zwischen dem optischen und geometrischen Mittelpunkte. Diese Stelle nennt man, da die Strahlen der Sonne sich bei einem Hohlspiegel daselbst vereinigen und eine bedeutende Hitze erzeugen, den Brennpunkt (focus) oder noch besser den Hauptbrennpunkt; im Gegensatz zu den auf den Nebenaren liegenden Brennpunkten.

Setzen wir $\frac{1}{2} r = f$ in die Formel (2), so erhalten wir

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{f},$$

eine Formel, wie wir für Converlinsen im Art. Finsenglas, Bd. IV. S. 551 gefunden haben. Für Hohlspiegel gilt also das Gesetz: die Summe aus den

wirklich zu vereinigen, weshalb dieser Punkt der negative oder scheinbare Brennpunkt heißt.

Setzen wir in Formel (2) $\frac{1}{2} r = f$, so erhalten wir

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{a} = - \frac{1}{f}.$$

Bedenken wir, daß hier a in der Richtung entgegengesetzt der von a positiv genommen ist, während bei dem Hohlspiegel die positive Richtung von a und a in demselben Sinne war, so können wir die Formel für Converspiegel auch $\frac{1}{a} + \frac{1}{a} = - \frac{1}{f}$ schreiben, wenn wir die Richtung von dem Spiegel nach

dem leuchtenden Punkte zu als allein positiv und die entgegengesetzte als negativ nehmen wollen. Wir erhalten dann für Converspiegel genau dieselbe Formel wie für Concavlinfen (s. Art. Linsenglas, Bd. IV. S. 551), und auch hier gilt nur der Unterschied in der Lage des Bildes, daß dasselbe bei dem Converspiegel stets hinter dem Spiegel liegt, während es bei der Concavlinse stets vor derselben steht.

Da wir bei den sphärischen Spiegeln zu denselben Gesetzen oder Formeln gelangt sind, wie bei den sphärischen Gläsern, so können wir hier von der Discussion der Formeln absehen. Der Hinweis auf Art. Linsenglas, Bd. IV. S. 549 bis 563 wird genügen; nur die Resultate mögen hier eine Stelle finden.

Bei Hohlspiegeln entsteht, wenn der Gegenstand unendlich weit auf der Hauptaxe steht, ein kleines umgekehrtes Bild im Brennpunkte. Steht der Gegenstand im Brennpunkte, so entsteht ein umgekehrtes Bild in unendlicher Entfernung, d. h. gar kein Bild, oder die Strahlen gehen parallel mit der Hauptaxe zurück. Steht ein Gegenstand im geometrischen Mittelpunkte, so befindet sich auch sein umgekehrtes Bild daselbst. Ist ein Gegenstand in messbarer Entfernung, die größer ist, als die doppelte Brennweite, so liegt das Bild zwischen dem Brennpunkte und geometrischen Mittelpunkte, ist umgekehrt und um so kleiner, je weiter das Object absteht, und rückt dem geometrischen Mittelpunkte um so näher, je näher das Object demselben rückt. Ist ein Gegenstand zwischen dem Brennpunkte und geometrischen Mittelpunkte, so liegt das Bild in größerer Entfernung, als der geometrische Mittelpunkt, ist umgekehrt und um so größer, je näher das Object dem Brennpunkte steht, und rückt in immer größere Ferne, je näher das Object dem Brennpunkte rückt. Steht das Object zwischen dem Brennpunkte und optischen Mittelpunkte, so wird das Bild ein geometrisches, während es in allen anderen Fällen ein physisches ist, steht hinter dem Spiegel, ist aufrecht und wird um so größer, je näher das Object dem Brennpunkte kommt.

Bei Converspiegeln ist das Bild stets ein geometrisches, steht stets hinter dem Spiegel in einer Entfernung, welche kleiner ist, als die Brennweite des Spiegels, ist aufrecht und um so kleiner und dem Brennpunkte um so näher, je weiter das Object absteht.

Die geometrische Construction dieser Gesetze läßt sich bei sphärischen Spiegeln eben so leicht durchführen, wie dies a. a. O. S. 557 und 559 bei den Linsengläsern geschehen ist.

Das Bild ist um so weniger verzerrt, ein je kleineres Stück der Spiegel von einer möglichst großen Kugel vorstellt. Größere Spiegelflächen geben nicht Brennpunkte, sondern Brennlinien. Am schönsten ist die constructive Betrachtung der Erscheinungen in sphärischen Spiegeln geliefert in: Darstellende Optik von Engel und Schellbach.

Die Hohlspiegel finden vielfache Anwendung, z. B. als Brennspiegel (s. d. Art.), als Reverberen bei Beleuchtungsapparaten, namentlich bei Leuchthürmen, desgleichen bei Mikroskopen zur Erhellung der mikroskopischen Objecte. Im ersten Falle (s. Art. Brennglas) ist die Flamme im Brennpunkte und wirft die Strahlen unter sich möglichst parallel zurück, im anderen Falle wird das auffallende Tageslicht im Brennpunkte concentrirt und dieser auf das zu betrachtende Object dirigirt. Die Anwendung der Hohlspiegel in den Spiegelteleskopen hat im Art. Fernrohr ihre Erledigung gefunden.

Die Converspiegel finden namentlich Verwendung als Landschaftsspiegel, wie man dergleichen so häufig in Gärten und dergleichen aufgestellt findet. Auch im Casségrain'schen Spiegelteleskop kommt ein kleiner Converspiegel zur Verwendung (Art. Fernrohr, Bd. III. S. 197).

Die Vergrößerungsspiegel aus Spiegelglas sind auf der Rückseite eben und an der als Vergrößerungsspiegel wirkenden Stelle convex geschliffen, die Verkleinerungs- oder Landschaftsspiegel hingegen concav. Man hat es hier also eigentlich nicht mit Spiegeln zu thun, sondern mit einem Apparate, bei welchem Reflexion und Refraction zugleich wirksam sind, so daß die von der ebenen Hinterfläche reflectirten Strahlen bei ihrem Rückgange durch das Glas gewissermaßen die hintere Hälfte einer Convex- oder Concaulinse durchlaufen und also auch die für diese geltenden Gesetze zur Anwendung kommen.

Ueber die Ermittlung der Brennweite bei Hohlspiegeln s. Art. Brennweite, Bd. I. S. 911.

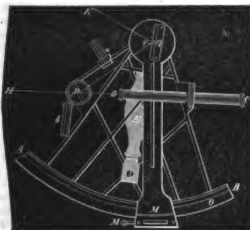
b) Von den paraboloidischen, ellipsoidischen und hyperboloidischen Spiegeln haben namentlich die ersteren noch Verwendung gefunden, weil bei ihnen Strahlen, welche von dem Brennpunkte ausgehen, genau parallel mit der Axe zurückgeworfen werden, und umgekehrt parallel der Axe auffallende sich genau im Brennpunkte vereinigen und keinen Brennraum liefern. Bei einem elliptisch gekrümmten Spiegel müssen die von einem Brennpunkte ausgehenden Strahlen sich im anderen Brennpunkte wieder vereinigen. Bei dem hyperboloidischen Spiegel werden die von dem Brennpunkte ausgehenden Strahlen so zurückgeworfen, als ob sie aus dem Brennpunkte des zugehörigen entgegengesetzten Hyperboloides kämen.

Die paraboloidischen Spiegel würden die besten Brennspiegel und die besten Reverberen abgeben. Die Schwierigkeit der Darstellung und die dadurch bedingte Kostbarkeit stehen indessen der allgemeinen Verwendung entgegen, so daß man sie meistens nur bei Leuchthürmen findet. H. G.

Spiegel-Sextant ist ein Instrument, welches bestimmt ist, den Winkel zweier Gegenstände in jeder Richtung gegen den Horizont selbst dann zu messen, wenn der Beobachter keinen festen Stand hat, weshalb dieses Instrument besonders für Schiffe brauchbar ist. Man schreibt die Erfindung desselben gewöhnlich Hadley zu, obwohl schon früher Newton ein auf demselben Princip beruhendes und

zu demselben Zwecke construirtes Instrument angegeben hatte *). Doch soll auch Godfrey in Philadelphia unabhängig von beiden ein solches Instrument construirt haben **). Auf dem festen Lande wird dieser Sextant wohl nur noch wenig gebraucht, da man hier anstatt seiner gewöhnlich den Theodolitthen anwendet.

Der Spiegel-Sextant besteht ***) aus einem Kreissector A q O (s. beistehende Figur), um dessen Mittelpunkt q sich eine Alhidade q M bewegt, welche bei M einen Vernier und bei q einen Spiegel trägt. Die spiegelnde Fläche desselben geht



durch den Mittelpunkt q des Kreissectors, und ist mittelst einer Vorrichtung Q auf seiner Rückseite senkrecht auf die Ebene des Sectors befestigt. Ein anderer kleinerer Spiegel ist bei P ebenfalls senkrecht auf die Ebene des Sextanten und so befestigt, daß er sehr nahe parallel mit der Linie q O geht, die den Mittelpunkt q des Sextanten mit dem ersten oder dem Anfangspunkte O des eingetheilten Randes A B verbindet. Wenn daher die Alhidade Q M mit ihrem Spiegel q so gestellt wird, daß der Index der Alhidade M durch diesen Anfangspunkt O der Theilung geht, so sind die Ebenen beider Spiegel zu einander parallel.

Die obere Hälfte des kleinen Spiegels P ist durchbrochen, so daß der Lichtstrahl von einem entfernten Object H durch diesen offenen Theil des Spiegels unmittelbar in das Auge C oder in das auf diesen Spiegel nahe senkrecht gestellte Fernrohr D C kommen kann. Nun wird die Alhidade Q M mit dem daran befestigten Spiegel q so lange gedreht, bis der Strahl eines zweiten Objects in der Richtung K q auf den großen Spiegel kommt und von demselben in der Richtung q P auf den unteren Theil des kleinen Spiegels reflectirt wird; von diesem fällt endlich in der Richtung P C in das Fernrohr oder in das Auge C des Beob-

*) Phil. Trans. 1742. p. 435.

**) Trans. of the Amer. Phil. Soc. T. I. p. 21. App.

*) Schönerberger: Anleitung zur geographischen Ortsbestimmung etc. Götting. 1795. & insbesondere Littrow: Der Himmel, seine Welten etc. Stuttgart 1835.

achters. Das Auge sieht dann zugleich das Object H durch die unmittelbaren Strahlen desselben und das Object K durch die von beiden Spiegeln zweimal reflectirten Strahlen in dem Felde des Fernrohrs und man wird nun der Alhidade QM durch ihre Mikrometerschraube noch eine kleine Bewegung geben können, durch welche man die Bilder der beiden Gegenstände H und K im Felde des Fernrohrs zum Decken oder Aufeinanderfallen bringt. Da nun bei jedem Spiegel der einfallende Strahl Kq und der zurückgeworfene qP und eben so auch qP und PO mit der Ebene des Spiegels q oder P immer denselben Winkel bilden, und die Ebene des kleinen Spiegels P mit der Linie qO des Anfangspunktes der Theilung parallel ist, so muß bei einer solchen Stellung der Alhidade QM, für welche die Bilder der beiden Objecte H und K sich in dem Fernrohre decken, der Winkel, welchen beide Spiegel mit einander machen, oder der Winkel OqM der Alhidade mit jener Linie qO des Anfangspunktes der Theilung, nämlich der von dem Vernier M der Alhidade von jenem Anfangspunkte O an zurückgelegte Bogen gleich sein der Hälfte des Winkels, welchen die beiden Objecte H und K in dem Auge des Beobachters bilden. (S. Art. Spiegel S. 48).

Aus dieser Ursache theilen auch die Künstler den Kreisbogen AB so ein, daß jeder halbe Grad dieses Kreises durch seine beigefügten Zahlen schon als ein ganzer betrachtet wird, so daß daher der an dem Instrumente unmittelbar abgelesene Bogen auch sofort gleich dem gesuchten Winkel HCK ist, welchen die beiden Objecte in dem Auge C des Beobachters bilden.

Diese Deckung der beiden Bilder im Fernrohre wird offenbar auch dann nicht gestört, wenn man den Sextanten um sein Fernrohr, gleichsam um die Axc CD dreht oder wenn man auch diese Bilder aus dem Mittelpunkte des Feldes an den Rand desselben führt. Und eben dies ist es, was dieses Instrument zur See so brauchbar macht, wo man es während der Beobachtung mittelst der Handhabe E in freier Hand zu halten pflegt, so daß ungeachtet der Schwankungen des Schiffes die beiden Bilder der Gegenstände doch immer in dem Felde des Fernrohrs erhalten werden können. Bemerken wir noch, daß zur Beobachtung der Sonne eigens gefärbte Blendgläser bei a und b angebracht sind, die man aufwärts dreht, um das Gesicht gegen die Sonnenstrahlen durch diese Gläser zu schützen, die also auch für minder hellleuchtende Gegenstände wieder zurückgeschlagen werden.

Um die Winkeldistanz zweier Gegenstände, z. B. zweier Thürme oder Gestirne mit dem Sextanten zu messen, halte man das Instrument bei seiner Handhabe E mit der rechten Hand so, daß der eine H dieser Gegenstände, durch den oberen Theil des kleinen Spiegels P, unmittelbar in dem Fernrohre CD erscheint, so daß also die Axc dieses Fernrohrs in die Richtung CDH des einen dieser Gegenstände gebracht wird. Dann drehe man die Fläche des ganzen Sextanten um dieses Rohr, als um seine Axc, so lange, bis diese Fläche auch durch den anderen Gegenstand K geht, und in dieser Lage des Sextanten (wo also der erste Gegenstand H immer im Felde des Fernrohrs bleibt) bewege man die Alhidade QM so lange, bis auch der zweite Gegenstand K, sammt dem ersten, im Fernrohre erscheint. In dieser Stellung der Alhidade befestige man sie, durch ihre Druckschraube, an die Fläche des Sextanten und bewege sie dann mittelst ihrer Mikrometerschraube noch etwas, bis die Bilder der beiden Gegenstände sich in dem Felde des Rohrs vollkommen decken. Die Zahl des Theilstriches, bei welchem

Dann der Vernier der Alhidade steht, giebt den gesuchten Winkel der beiden Gegenstände H und K,

Wenn man aber nicht die Distanz zweier Gestirne, sondern die Höhe eines derselben finden will, so braucht man dazu noch einen Horizont, am besten eine mit Quecksilber gefüllte Schale. Dann richtet man das Fernrohr des Sextanten so, daß man damit unmittelbar, durch den oberen Theil des kleinen Spiegels, das Bild des Gestirns in diesem Horizonte sieht, worauf man die Ebene des Sextanten um das Fernrohr, als um eine fixe Axe dreht, bis diese Ebene in eine verticale Lage kommt. Hat man dies erreicht, so bewege man, indem man immer das von dem Horizonte reflectirte Bild des Gestirns im Fernrohre festhält, die Alhidade QM so lange auf oder ab, bis auch das zweite, von dem großen und dem unteren Theile des kleinen Spiegels reflectirte Bild, zugleich mit jenem, in dem Felde des Fernrohres erscheint, worauf man wieder die Alhidade durch ihre Druckschraube feststellt und durch die Mikrometerschraube beide Bilder zur genauen Bedeckung bringt. Die jetzt von der Alhidade angegebene Zahl der Theilstriche ist doppelte Höhe des beobachteten Gestirns.

Um den Quecksilber-Horizont vor dem Luftzuge zu beschützen, bedeckt man ihn mit einem Dache von zwei Glasplatten, deren Flächen einander genau parallel sind. Statt des Glases wird man sicherer diejenige Glimmergattung anwenden, die unter dem Namen Frauenglas oder Miroir d'ane bekannt ist, da diese schon von der Natur in vollkommen parallele Blätter gespalten wird. Künstliche Horizonte, die aus Spiegeln bestehen und mit Libellen horizontal gestellt werden, sind nie so sicher, wie jene natürlichen. Auf dem Meere endlich bedient man sich zu diesem Zwecke des Horizontes, d. h. derjenigen Linie, welche die Oberfläche des Meeres von dem Himmel trennt, indem man diese Linie mit dem zu beobachtenden Gestirn im Felde des Fernrohres zur Bedeckung bringt.

Auch dieses Instrument muß, ehe es zu den Beobachtungen verwendet wird, zuerst in allen seinen Theilen berichtigt sein. Die wichtigste dieser Berichtigungen betrifft den sogenannten Collimationsfehler des Sextanten. Es sollen nämlich, wie gesagt, beide Spiegel auf der Ebene des Sextanten senkrecht stehen, und überdies, wenn die Alhidade auf Null steht, einander parallel sein. — Man stelle also die Alhidade in die Nähe des Nullpunktes der Eintheilung und sehe durch das Fernrohr auf irgend einen wohl begrenzten Gegenstand. Mit einer geringen Bewegung der Alhidade wird man dann das unmittelbar durch den oberen Theil des kleinen Spiegels sowohl, als auch das mittelbar durch den großen Spiegel reflectirte Bild desselben Gegenstandes in dem Fernrohre erblicken, worauf man beide, durch die Mikrometerschraube, zur genauen Deckung bringt. Steht in diesem Zustande die Alhidade nicht auf Null, sondern z. B. auf $0^{\circ} 30'$ des eingetheilten Randes, auf der Seite von dem Nullpunkte O nach A, so muß man von allen mit dem Instrumente beobachteten Winkeln diese Größe $0^{\circ} 30'$ subtrahiren, um den wahren Winkel zu erhalten. Man wird ihn addiren, wenn die Alhidade auf der anderen Seite zwischen O und B stände. Kann man aber bei dieser Untersuchung die beiden Bilder desselben Gegenstandes nicht zu einer genauen Bedeckung bringen, sondern gleiten sie, wenn man die Alhidade bewegt, neben einander hin, so ist dies ein Zeichen, daß der kleine Spiegel nicht senkrecht auf der Ebene des Sextanten steht. In diesem Falle wird man dann dem kleinen Spiegel durch die unter ihm, auf der hinteren Fläche des Sextanten, hervor-

stehende Schraube die gehörige Neigung gegen diese Fläche geben, damit er darauf senkrecht steht, d. h. damit die beiden Bilder in der That zur Bedeckung gebracht werden können.

Besser ist es noch, zur Bestimmung jenes Collimationsfehlers nicht ein terrestrisches Object, sondern die Sonne zu nehmen. Bringt man dann die beiden Bilder derselben an ihrem sehr scharf begrenzten Rande an den entgegengesetzten Seiten dieses Randes zur Bedeckung, und liest für beide Bedeckungen den Stand der Alhidade ab, so ist die halbe Differenz der beiden Lesungen der Collimationsfehler des Instrumentes, und die halbe Summe derselben ist gleich dem Durchmesser der Sonne, wodurch man, da dieser Durchmesser aus den astronomischen Ephemeriden bereits bekannt ist, zugleich ein Prüfungsmittel hat, ob die beiden Beobachtungen in der That gut und verlässlich sind.

Bei Messungen, die keine große Genauigkeit erfordern, besetzt man an der Handhabe statt des Fernrohrs wohl auch nur eine Messingscheibe mit einem Loch, vermittelt dessen man durch den unbelegten Theil des einen Spiegels einen entfernten Gegenstand sehen kann.

Spiegelglas, s. Antimon.

Spirituslampe. Der Bequemlichkeit und Reinlichkeit wegen bedient man sich in chemischen Laboratorien bei den mannichfaltigsten Operationen meistens der Spirituslampen. Der Hauptsache nach zerfallen diese in zwei verschiedene Arten, ähnlich wie die im Art. Lampe, Bd. IV. S. 406 ff. besprochenen Oellampen, in solche mit einfachem und solche mit doppeltem Luftzug. Die ersteren werden in der Regel aus Glas angefertigt, weil dieses ein schlechter Leiter der Wärme ist, so daß der Spiritus in der Lampe sich nicht erwärmt, und keine Verdampfung desselben, die nicht allein Verluste, sondern durch Explosionen auch Unglücksfälle herbeiführt, eintreten kann. Sie haben gemeinhin beistehende Form. In die Öffnung,

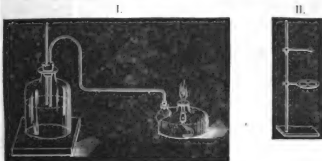


welche zur Aufnahme des Dochtes bestimmt ist, setzt man eine metallene Hülse — den Dochthalter — ein, die dadurch festgehalten wird, daß sie auf dem Rande des Glases aufliegt. Wollte man die Hülse fest in den Hals der Lampe einfügen, so würde diese durch die Ausdehnung des Metalls in der Wärme gesprengt werden. Nach dem Gebrauch stürzt man über den Docht eine Kapsel von Glas oder Metall, um die Verdampfung des Spiritus zu verhindern. Versäumt man dies, so hat man nicht allein die Kosten für den verlorenen Spiritus zu tragen, sondern der Docht läßt sich, wenn er längere Zeit unbedeckt gestanden hat, auch nicht wieder unmittelbar anzünden, weil der Spiritus versiegen und der Docht mit Wasser gefüllt ist. Die zweite Öffnung dient zum Nachfüllen des Brennstoffes, auch muß man sich hüten, dies vorzunehmen, so lange die Flamme brennt, weil dann sehr leicht heftige Explosionen erfolgen können. Wo sich diese Öffnung nicht findet, hat man die Unbequemlichkeit, stets beim Nachfüllen den Docht herausnehmen zu müssen. Zu einer solchen Lampe kann man sehr leicht eine jede beliebige Flasche von passender Form herrichten.

Bei langwierigen Operationen kann man sehr leicht durch eine einfache Vorrichtung, wie sie umstehende Fig. 1. zur Anschauung bringt, die Füllung ganz umgehen. Die gebogene Röhre dient als Heber, der stets neuen Spiritus der

Lampe zuführt, sobald das Niveau in dieser niedriger steht als die Oeffnung der kleinen offenen Röhre, die neben dem Heber durch den Kork der Vorrathsflasche geht. Diese Röhre kann man mit Leichtigkeit hoch oder niedrig stellen und so den Zufluß des Spiritus auf lange Zeit regeln.

Wegen des vollen, runden Dochtes geben diese Lampen nur eine geringe Wärme, weil eben nur eine verhältnißmäßig geringe Menge Spiritus zur Verbrennung gelangt. Sie werden daher nur verwendet, wenn man mit kleinen



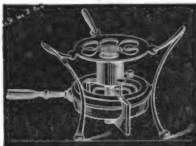
Mengen arbeitet oder überhaupt einer größeren Hitze nicht bedarf. Zum Aufstellen der Gefäße dienen entweder gewöhnliche Dreifüße oder eine einfache Vorrichtung (s. beistehende Fig. II.), bei der der leichtbewegliche tragende Arm erlaubt, daß die Wärmequelle in einer größeren oder geringeren Entfernung wirkt.

Eine größere Hitze erreicht man durch die Lampe mit einem runden Docht und mit doppeltem Luftzug. Diese, für den Chemiker, sofern diesem keine Gasfeuerung zu Gebote steht, unentbehrlich, führt den Namen *Verzelius'sche Lampe*, aber nicht deshalb, weil sie von *Verzelius* erdacht, sondern von diesem nur in das chemische Laboratorium eingeführt worden ist. In Frankreich ist diese Kochvorrichtung schon lange zu häuslichen Zwecken im Gebrauch und hier hat sie *Verzelius* auch zuerst gesehen. Jetzt finden wir sie auch bei uns vielfach in Haushaltungen, weil die Bequemlichkeiten, welche sie bietet, sehr groß sind.

Nach dem Zweck ihrer Verwendung giebt man der Lampe verschiedene Formen (s. umstehende Fig. I. und II.). Gemeinhin werden sie aus Messingblech oder für Haushaltungen auch aus Neusilber angefertigt. In dem ringförmigen Spiritusbehälter findet sich ein parallelepipedischer Raum *cu* (s. Fig. III.), der mit dem Spiritus-Behälter keine andere Verbindung hat als durch die Röhre *hg* (s. Fig. IV.), welche den Spiritus dem Docht zuführt. Dadurch werden Explosionen verhütet, die durch Entzündung des mit Luft gemischten Spiritusdampfes entstehen würden, wenn die Lampe theilweise ausgebrannt ist. Dieser abgeschlossene Raum enthält eine Zahnstange, die durch ein eingreisendes Getriebe den Docht zwischen zwei Cylindern auf- und abbewegt, so daß man die Stellung der Flamme ganz nach Erforderniß in seiner Hand hat. Eine mehr zu empfehlende Einrichtung zur Herstellung der Beweglichkeit des Dochtes ist eine recht feilgeschliffene Schraube von der Länge des ganzen Dochtes; den Arm löthet man nicht

an, sondern läßt ihn in einer Mutter enden, welche auf der Schraube sitzt. Beim Drehen der Schraube steigt oder sinkt die Mutter auf der Schraube und eine gleiche

I.



II.



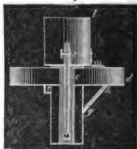
Bewegung macht natürlich auch der durch den Arm mit der Mutter verbundene Dochttring. Um den Effect der Lampe zu erhöhen, müssen die Wände des Brenners nur sehr dünn sein, wodurch eine starke Ableitung verhindert wird. Die Flamme wird durch einen kleinen Schornstein gegen Zugwind gesichert und dadurch noch der Zug vermehrt.

Um die nicht seltenen Explosionen zu vermeiden, die dadurch entstehen, daß

III.



IV.



der Spiritus in dem Behälter durch die Leitung der Wärme ins Kochen geräth, hat Fuchs den Dochthalter durch ein 3 bis 4'' langes Rohr mit dem Spiritusbehälter verbunden (s. beistehende Fig. V.). Dadurch,

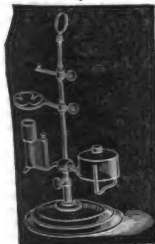
V.



daß der Brenner aus sehr dünnem Blech angefertigt wird, verringert man die Wärmeleitung bedeutend. Batka hat die Fuchs'sche Lampe durch einen Hahn in der Zuleitungsröhre verbessert, der sich ganz gut bewährt hat, indem dadurch nicht nur der Zufluß des Spiritus regulirt, sondern auch die Verdunstung des Spiritus möglichst

verhindert wird. Die Buchs'sche Lampe hat auch die verbesserte Form, wie sie bestehende Fig. 1. zeigt, bekommen. Eine solche Lampe aus Neusilber, an der der Spiritusbehälter aus starkem Glase, hatte Batka zu London ausgestellt; sie erfreute sich des allgemeinen Beifalls. An dem Spiritusbehälter war eine Scala in Cubiccentimetern angebracht, die den Verbrauch des Spiritus, den man besonders bei vergleichenden Arbeiten zu kennen wünscht, genau angab. Batka fertigt auch Stellschrauben aus Palladiumsilberdraht, die sehr zu empfehlen sind, da sie selbst nach mehrjährigem Gebrauche unverändert und stets fest bleiben, so daß man den Preis von 40 Kr. nicht zu scheuen braucht. Um das Nachfüllen des Spiritus, das namentlich bei langwierigen Arbeiten lästig ist, zu vermeiden, hat man auch Lampen mit Sturzflaschen construiert, bei denen die Einrichtung der letzteren genau der bei den Dellampen entspricht (s. bestehende Fig. 11.).

I.



II.



Die Lampe mit doppeltem Luftzug ist für den Chemiker ein unentbehrliches Gerath geworden; durch die leichte Beweglichkeit des Dochtes kann man jede gewünschte Temperatur hervorbringen, sei es daß man eine Flüssigkeit abdampfen will, ohne daß sie ins Kochen geräth, oder sei es, daß man Glühungen oder Schmelzungen vornehmen will. Dadurch wird das Kohlenfeuer in vielen Fällen entbehrlich. Bei den letzteren Operationen darf man jedoch den Tiegel nicht zu groß wählen. Besonders hohe Hitzegrade erlangt man, wenn die Cylinder, zwischen denen sich der Docht befindet, wenigstens einen Viertel Zoll von einander abstehen, so daß man wenigstens 3 bis 4 Döchte über einander schieben kann. In einer solchen Flamme wird ein Platintiegel von einer Unze Inhalt weißglühend und Silber schmilzt leicht.

Bolley schlägt zur Speisung der Lampen den Holzgeist vor, der jetzt in großen Mengen gewonnen wird oder wenigstens gewonnen werden kann, sobald sich Abzweigwege dafür eröffnen. Um die allgemeine Meinung, daß Holzgeist nur wenig Hitze liefere, zu prüfen, hat Bolley vergleichende Versuche angestellt *). Der rohe, schwach sauer reagirende Holzgeist hatte ein specif. Gewicht = 0,81. Hiernach verhält sich die Heizkraft des Weingeistes zu der des Holzgeistes wie 43 : 50 oder nahezu wie 6 : 7; die Preise waren aber wie 4 : 3. Der Holzgeist ist also ein um $\frac{1}{14}$ wohlfeileres Brennmaterial. Der Geruch, welchen der

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXIV. S. 398.

brennende Holzgeist verbreitet, ist höchst unbedeutend und kaum beachtenswerth. Von einer stärkeren Corrosion des Metalls der Lampe wurde nicht bemerkt.

Auch die flüssigen Kohlenwasserstoffe werden bereits zu gleichem Zwecke benutzt. Für diesen hat Devillz eine Lampe construirt *), die sehr hohe Temperaturen hervorbringt und in der école normale in Paris im täglichen Gebrauch ist. Das Brennmaterial wird in Dampfform und angezündet gegen ein Löthrohr mit sehr weiter Oeffnung geführt, dessen Wind ein Blasebalg liefert. Mit den Kohlenwasserstoffen, deren Siedepunkt der niedrigste ist, kann man die stärkste Hitze hervorbringen und zwar sehr schnell eine solche, die der Temperatur des schmelzenden Eisens nahe liegt. Moigno hat in seinem Cosmos, März 1854, eine Abbildung dieser einfachen Lampe mitgetheilt (s. beistehende Figur). Eine tubulirte Flasche, welche als Reservoir mit constantem Niveau dient, communicirt



mit einem doppelten Cylinder von Kupfer und erhält denselben mit dem Brennmaterial gefüllt. Die innere cylindrische Hülle ist mit kleinen Löchern versehen, durch welche der brennbare Dampf entweicht; im Centrum der Lampe befindet sich die Oeffnung des Löthrohrs. In den ringförmigen Raum zwischen den zwei Cylindern und zwar an dessen oberen Theil begeben sich zwei kupferne Röhren. Diese verbinden sich unter dem Apparat zu einer einzigen, welche mit einem Hahn versehen ist. Eine unter der Lampe befindliche Flasche mit zwei Tubulaturen setzt den Blasebalg mit dem Löthrohr und dieser letzteren Röhre in Verbindung. Die Lampe ist außen noch mit einer Rinne versehen, in welche man Wasser gießt, damit sich ihre verschiedenen Theile nicht zu stark erhitzen. Ueberdies wird auf der Lampe eine Kuppel angebracht, in deren Loch

man ein Zugrohr steckt, um die Flamme einzuziehen und zusammen zu halten. Beim Gebrauch entzündet man zuerst das im cylindrischen Raum enthaltene Del, bis das Wasser der Rinne ins Sieden kommt, gießt dann den Wind und zündet den nun entstandenen Dampfstrahl an.

In neuerer Zeit hat man auch die Kohlenfeuerung bei der organischen Analyse durch Spiritus ersetzt (vergl. Bd. I. S. 173). So nahe auch die Anwendung des Leuchtgases zur Beschaffung der Hitze in den chemischen Laboratorien lag und obgleich bereits England darin vorangegangen war, so fand diese Neuerung doch nicht sogleich bei uns Eingang. Ein Beleg dafür, daß auch in der gelehrten Welt die Macht der alten Gewohnheit sehr groß ist. Zuerst empfahl der Professor Kühn in Leipzig diese Feuerung allen Chemikern aufs Beste **) und sonderbar, gerade hier findet man die Gasfeuerung in keinem der beiden Laboratorien, während die anhaltend theuern Preise des Spiritus an anderen Orten (Berlin, Breslau, München etc.) die Einführung derselben zu Wege gebracht haben.

*) Compt. rend. Decbr. 1823. No. 56.

**) Ann. der Chem. und Pharm. Bd. LXXIV. S. 113.

Sonnenschein hat die günstigen Resultate, welche diese „bei uns fremde Einrichtung“ in seinem Laboratorium geliefert hat, veröffentlicht *) und hier findet man auch die Apparate für die verschiedenen Operationen, die zumeist von Glaser in Berlin angefertigt sind, beschrieben. Die Kosten der Gasfeuerung verhalten sich zu der mit Spiritus nach genauen Versuchen wie 2 : 5 und die Bequemlichkeit ist hier noch weit größer.

Die kleineren, einfachen Spirituslampen werden durch sogenannte Kochbrenner ersetzt, über welche ein Brenneraufsatz von Messing mit eisernen Füßen und Henkel gestellt wird. Dieser hat die Gestalt eines abgestumpften Kegels und ist oben mit einem Netz von Messingdrabt, ähnlich dem bei der Davy'schen Sicherheitslampe gebräuchlichen, bedeckt. Mittelft des Hahnes läßt sich die Flamme so leicht reguliren, daß man Tage lang die Temperatur auf einen bestimmten Grad fixiren kann. Statt der Berzelius-Lampe werden 12 und 16 Kochbrenner verwendet; mit letzteren kann man 20 Grm. trockenes kohlen saures Natron in 6 Minuten schmelzen. Will man höhere Temperaturen erzeugen, so nimmt man das Gebläse mit zu Hülfe. Man erhält dann die vollständigste Weißglühhitze, durch welche kohlen saurer Baryt leicht zusammensintert, ein Gemenge von 1 Grm. Feldspath und der nöthigen Menge kohlen sauren Baryts in 15 Minuten vollständig zersetzt wird und ein Gemenge von 3 Grm. Granit mit 15 Grm. kohlen sauren Natrons in weniger als 5 Minuten schmilzt. Auch zur organischen Analyse, die bereits von Kühn gleichfalls bei Gasfeuerung ausgeführt wurde, existirt ein passender Apparat.

Das Gas wird hier, um vollständig zu verbrennen, mit atmosphärischer Luft gemischt; ein Ueberschuß derselben ist hier aber eben so nachtheilig, wie eine zu kleine Menge. In beiden Fällen wird die Hitze beeinträchtigt; in jenem ist die Flamme unstet und flackernd, in diesem setzt sie beträchtliche Mengen von Ruß ab. Diese und andere Uebelstände, mit denen die Gaslampen in der ersten Zeit behaftet waren, haben wohl Veranlassung gegeben, eine neue zu construiren **), deren Wirkungen in hohem Grade befriedigend sind. v. Baumhauer hat gleichfalls verschiedene Lampen dieser Art beschrieben ***).

W. B.

Sprachgewölbe, Sprechsaal, ist ein absichtlich so gebautes Gewölbe, daß Worte, die an einem Orte leise gesprochen werden, an einem anderen Orte gehört werden, während irgend wo anders im Gewölbe oder Saale stehende Personen sie nicht vernehmen. Ein solches Gewölbe muß eine elliptische Gestalt haben; dann werden die von dem einen Brennpunkte ausgehenden Schallwellen nach ihrer Reflexion von den Seitenwänden in dem anderen Brennpunkte vereinigt und hier vernommen. Ein derartiges Zimmer befindet sich in der Sternwarte zu Paris. Die sogenannten Flüstergallerieen gehören ebenfalls hierher.

Denkt man sich ein Gewölbe parabel förmig gestaltet, so werden alle zur Axe parallel einfallenden Strahlen nach der Reflexion von den Wänden im Brennpunkte dieses Raumes vereinigt. Hierher scheint nach Kircher ****) das aus dem

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LV. S. 479.

**) Sitzungsber. d. Wien. Akad. Math. phys. Kl. 1831. S. 376.

***) Journ. f. Chem. u. Pharm. Bd. XC. S. 21.

****) Kircheri Phonurgia. Beckmann's Beiträge zur Geschichte der Erfindungen. Th. I. S. 467.

Alterthume bekannte Ohr des Dionys zu gehören, eine in Fels gehauene Grotte zu Syrakus, in der man an einem Punkte Worte vernimmt, welche an anderen Stellen der Grotte leise gesprochen werden. Diese Grotte soll jedoch nur ein Steinbruch gewesen und die akustische Eigenschaft derselben zufällig entstanden sein.

Sprachrohr ist eine Röhre in der Form eines abgekürzten Kegels, dessen kleinere Oeffnung der Sprechende vor den Mund nimmt, während er die weitere Oeffnung einer entfernt stehenden Person zuwendet, welche die Worte vernehmen soll. Dasselbe hat den Zweck, die Schallwellen ungeschwächt durch eine größere Strecke fortzupflanzen. Gewöhnlich giebt man einem solchen Rohr eine Länge von 4 bis 6 Fuß, seiner engeren Oeffnung einen Durchmesser von 2 Zoll und der weiteren einen Durchmesser von 6 bis 10 Z. Doch hat man in England auch Sprachröhre von 24 Fuß engl. An das engere Ende bringt man wohl noch ein Mundstück und an das weitere einen trompetenförmigen Fortsatz an. Man verfertigt das Rohr aus Kupfer- oder Weißblech, oder auch aus Pappe oder Gutta-Percha.

Das Sprachrohr wurde zuerst 1670 von S. Morland *) in Anwendung gebracht. Seine Wirkung beruht zunächst darauf, daß die sphärische Ausbreitung der Schallwellen (s. Art. Wellenbewegung) und die damit verbundene Schwächung derselben beim Fortschreiten durch das Rohr verhindert wird, wie dies auch in einem cylindrischen Rohre (Communicationrohr) der Fall ist; dann sollen aber auch die Schallwellen noch von der Wand der conischen Röhre reflectirt und in der Richtung der Axe fortgeleitet werden, etwa in ähnlicher Weise wie bei einem Paraboloid, in dessen Brennpunkte Schallwellen erregt werden. Eine auf der Reflexion der Schallwellen basirte Theorie des Sprachrohres gab namentlich Lambert **). Doch scheint dieselbe nicht mit der Erfahrung übereinzustimmen. Hassenfray ***) schob in ein blechernes Sprachrohr eine Ueberkleidung von Wollzeug, wodurch eine nur unbedeutende Schwächung bewirkt wurde, obgleich dieses Zeug die Reflexion der Schallwellen fast ganz aufhob oder doch sehr störte. Sonst ist es ganz natürlich, bei der Wirkung des Sprachrohres auf die Reflexion der Schallwellen an der inneren Wand der conischen Röhre Rücksicht zu nehmen. Man hat auch darauf hingewiesen, daß bei jeder Reflexion von der Wand des Sprachrohres der reflectirte Schallstrahl einen kleineren Winkel mit der Axe als der eingefallene mache, und daß der Unterschied dieser beiden Winkel dem Winkel an der Spitze des Kegels gleich sei. Anderseits wurde die Ansicht geäußert, daß die vor- und rückwärts schreitenden Schallwellen, während sie in dem conischen Rohre oscilliren (s. d. Art. Wellenbewegung), durch die im Fortschreiten ihnen gestattete Ausbreitung und die beim Rückgange stattfindende Zusammendrückung stets einen neuen Impuls zum Fortgehen erhielten, sich zuletzt gegen das Schallstück, nämlich gegen das trompetenförmige Stück an der weiteren Mündung, hemmten, und deshalb in ungleich größere Fernen gelangen müßten, als wenn

*) An Account of a speaking trumpet, as it has been contrived by Sam. Morland. Lond. 1761. Phil. Transact. T. VI. No. 79. p. 3066.

**) Ueber einige akustische Instrumente. Berlin 1799. Mém. de l'Acad. de Berlin. 1763. Bieth, Anfangsgründe der Math. Th. II. Abth. 1. Leipzig 1824. S. 332.

***) Ann. de Chim. T. L. p. 297.

ſie ſich im freien Luſtraume oder auch anfänglich in einer cylindriſchen Röhre fortpflanzen. — Morland konnte bei ſeinen erſten Verſuchen die Stimme eines Mannes mit einem 5,5 fußigen Rohre bis 15000 engl. Fuß hörbar machen. Nach Vietſ erſtreckte ſich dagegen an ſtilen Winterabenden die bequeme Aufweite mit einem 4,5 Fuß langen Sprachrohre nicht über 5000 Fuß. Nach Verſuchen, die Hutton *) erwähnt, konnten die Worte durch ein 24 engl. Fuß langes Rohr auf 2500 geometriſche Schritte verſtanden werden. Munde **) ſchätzt endlich auf Grund der von Morland und einiger von ihm ſelbſt angeſtellten Verſuche die größte Weite, bis zu welcher eine ſtarke Männerſtimme durch ein Sprachrohr von 18 bis 24 Fuß Länge noch überhaupt gehört werden kann, zu 18000 Fuß.

Sprechmaſchine, ſ. Stimme.

Springbrunnen oder Fontainen nennt man die in der Natur vorkommenden oder künstlich hergeſtellten Vorrichtungen, welche Waſſer bis zu einer gewiſſen Höhe mit Ueberwindung der Schwere und des Widerſtandes der Luſt emporzutreiben, ſo daß es frei aus einer Oeffnung in einem Strahle oder in mehreren Strahlen emporſpringt. Die ſpringenden Waſſerſtrahlen können ſich vertical von unten nach oben erheben, oder auch Waſſergarben bilden, nach Parabeln von verſchiedener Weite. Es können bei einem ſolchen Springbrunnen in Betracht kommen das Reſervoir, in dem ſich das Waſſer befindet und aus dem es abgeleitet wird, die Leitungsröhren, durch welche das Waſſer bis zum Orte ſeiner Beſtimmung gelangt, und endlich die Oeffnung, aus welcher das Waſſer emporſpringt. Die hierauf bezüglichen Geſetze ſind entwickelt in den Art. Ausfluß, Mechanik der Flüſſigkeiten und Röhrenleitung. Die Oeffnungen, welche die verticalen Strahlen erzeugen, ſind in horizontale Wände gebohrt und die in parabolischen Strahlen aufſteigenden ſind in Wände gebohrt, die mannichfach geneigt ſein können. Die Richtung der Wurflinie (ſ. Art. Wurfbewegung) iſt bedingt durch die Schwere, welche vertical wirkt, und durch den Druck des Waſſers, welcher ſenkrecht gegen die Wand iſt. Da die Waſſertheilchen (nach dem Toricelliſchen Geſetze) an der Oeffnung dieſelbe Geſchwindigkeit haben, wie wenn ſie von einer Höhe gleich der Höhe des Niveau der Flüſſigkeit im Behälter gefallen wären, ſo ſollten ſie im Stande ſein, in der Richtung von unten nach oben bis zu einer Höhe aufzuſteigen, von welcher ſie herabgekommen ſind. Die Höhe des verticalen Strahles würde daher immer gleich ſein der Erhebung des Niveau über die Mündung. Allein dieſe Höhe wird in der Wirklichkeit nicht erreicht, theils wegen der Reibung des Waſſers gegen die Wände der Röhren, welche ſie von dem erſten Behälter bis zur Mündung führen, und gegen die Mündung ſelbſt, theils wegen des Widerſtandes der atmosphäriſchen Luſt, und dann auch, weil die Waſſertheilchen von dem höchſten Punkte des Strahles zurück auf die aufſteigenden Waſſertheilchen fallen und ihre Bewegung hindern ***). Um dieſe Widerſtände auf ihre kleinſten Werthe zu reduciren, giebt man den Leitungsröhren einen Durchmesser, der von ihrer Länge, von der Größe der Mündung und der Höhe des Waſſerbehälters abhängt, indem man denſelben nach den auf die Leitungsröhren bezüglichen Formeln be-

*) Dictionary of nat. Phil. T. II. p. 342.

**) Gehler's phyſ. Wörterb. Bd. VIII. S. 467.

***) Vergl. Art. Ausfluß, Bd. I. S. 624.

rechnet (Art. Röhrenleitung), macht die Mündung kreisförmig und bohrt sie in eine dünne Wand, in eine Scheibe oder in ein Plättchen. Will man die Röhre nicht umbiegen, so ist das Plättchen an dem Ende derselben befestigt, so daß es einen Theil der oberen Seitenwand der Röhre bildet. Ist man genöthigt die Röhre umzubiegen, so bringt man sie nach oben, indem man sie abrundet, und das Plättchen bildet dann das Ende. Das Plättchen ist entweder eben oder kappenartig convex, je nachdem man einen verticalen Strahl oder eine aus mehreren parabolischen Strahlen bestehende Garbe haben will *).

Ueber die natürlich vorkommenden Springbrunnen s. d. Art. Quellen.

Zu den Springbrunnen im engeren Sinne gehören der Heronsball und Heronsbrunnen (s. d. Art.) und der intermittirende Springbrunnen oder die intermittirende Fontaine. Die letztere zeigt beistehende Figur.



R ist der Wasserbehälter, jj' sind Aufsaugröhren, von denen die Figur nur 2 zeigt; T ist die Druckröhre; ihr oberes Ende erhebt sich über das Niveau des Wassers im Behälter; P ist der Fuß der Fontaine. Hier befindet sich das Geheimniß des Intermittirens. Man unterscheidet hier einen runden Ausschnitt e am unteren Ende der Röhre und eine Oeffnung v, durch welche das Wasser vom ersten Boden nach dem zweiten geht. Wenn der Ausschnitt entblößt ist, so geht die Luft in die Röhre und drückt mit der Gewalt einer Atmosphäre auf die Oberfläche des Wassers im Behälter; wenn der Ausschnitt unter das Wasser getaucht ist, welches sich über dem oberen Boden ansammelt, so kann die Luft nicht mehr durch die Röhre eintreten, der Druck im Behälter nimmt allmählig ab. Die Aufsaugröhren jj' können mit dem Wasser der Fontaine in Verbindung stehen oder auch nicht, je nachdem man die Zwingen, an welche sie befestigt sind, nach der einen oder nach der anderen Richtung dreht. So wie die Verbindung hergestellt ist, ergießt sich das Wasser durch die Auf-

saugröhren, fällt auf den ersten Boden und häuft sich über der Oeffnung v an. Diese läßt weniger Wasser durchgehen, als die Aufsaugröhren liefern, das Niveau steigt immer höher über derselben, setzt endlich den Ausschnitt e unter Wasser, und schneidet dadurch den Luftzutritt in den Behälter R ab. Der Druck in diesem nimmt ab und ist bald so gering, daß aus den Aufsaugröhren jj' kein Wasser mehr ausläuft. Damit tritt aber auch kein Wasser mehr über den oberen Boden des unteren Gefäßes, und das in demselben noch enthaltene fließt durch v ab, so daß sein Niveau unter e sinkt, neue Luft in den Behälter R gelangen und neues Auslaufen des Wassers aus den Aufsaugröhren bewirken kann. Man begreift, daß auf diese Weise das Wasser abwechselnd laufen und stocken muß, je nachdem der Ausschnitt e bedeckt ist oder nicht.

Ein anderer als Spielerei dienender Springbrunnenapparat besteht aus zwei über einander befindlichen, verschlossenen Gefäßen von Blech; das untere ist beträchtlich größer, als das obere, welches mit einer Steigrohr, die bis fast auf

*) S. Langsdorf, Handbuch der gemeinen und höheren Mechanik. Heidelberg 1807. S. 192. Gerßner, Handbuch der Mechanik, Bd. II, S. 224.

den Boden dieses Gefäßes herabgeht, versehen ist. Erhitzt man nun das untere Gefäß, so wird die in ihm befindliche Luft ausgedehnt, so daß sie durch eine Röhre in das obere Gefäß steigt, hier gegen das vorher eingefüllte Wasser drückt und auf ähnliche Weise wie im Heronsball einen kleinen Springbrunnen giebt. — Die sogenannte Feuerfontaine, die man früher wohl öfter in physikalischen Cabinetten sah, hat folgende Einrichtung. Eine Kugel, die man mit (rothgefärbtem) Weingeist gefüllt und verkorkt hat, ist auf einem hölzernen oder metallenen Fuß umgekehrt mit ihrem verlängerten Halse aufgesteckt. Aus der Mitte des Halses gehen zwei aufwärts gebogene, an den Enden in Spitzen ausgezogene Röhren hervor. Der Luftdruck hindert das Ausfließen des Weingeistes aus diesen Röhren; werden aber die aus den Spitzen dringenden Tropfen angezündet, so wird die Kugel erhitzt. Nun entstehen Dämpfe, die den Weingeist in die Höhe treiben, welcher brennend die Kugel noch stärker erhitzt, so daß dann zwei ziemlich hoch springende, brennende Weingeiststrahlen zwei Feuerfontainen bilden. —

Wir wollen nun hier noch einiger Vorrichtungen erwähnen, welche einen Ausfluß des Wassers (s. Art. Ausfluß, Bd. 1. S. 623 ff.) unter constantem Druck, also auch mit gleichförmig fortdauernder Geschwindigkeit bewirken, ohne daß neues Wasser nachfließt. Hierher gehört das Mariotte'sche Gefäß oder die Mariotte'sche Flasche. Den Hals der Flasche verschließt ein Kork *b* (s. beistehende Figur), durch welchen luftdicht eine oben und unten offene Glasröhre *l*



geht, die aber in die Höhe gezogen und hinabgedrückt werden kann. Bei *v* befindet sich eine kleine Ausflußöffnung. Ist nun die Flasche mit Wasser gefüllt und steht das letztere in der Röhre eben so hoch als in der Flasche, so fließt es bei *v* aus, falls das untere Ende der Röhre tiefer steht als die Ausflußöffnung. Allein das Ausfließen hört auf, sobald das Wasser in der Röhre bis zum Punkte *n*, welcher mit *v* in gleicher Höhe steht, herabgefallen ist. Der äußere atmosphärische Druck ist nämlich dann im Gleichgewichte mit der über *n* befindlichen Wassermasse im Gefäße und dem Druck der Luft im oberen Theile des Gefäßes. Zieht man aber die Röhre

so weit in die Höhe, daß ihr unteres Ende *h* oberhalb der Ausflußöffnung liegt, wie die Figur zeigt, so geschieht der Ausfluß mit constanter Geschwindigkeit, während Luftblasen durch das Wasser in den oberen Theil des Gefäßes steigen. Die Ausflußgeschwindigkeit entspricht einer Druckhöhe, welche gleich der Höhe des unteren Endes der Röhre über der Oeffnung *v* ist. So lange sich nun der Wasserspiegel im Gefäße oberhalb *h* befindet, bleibt die erwähnte Druckhöhe dieselbe und daher auch jene Geschwindigkeit constant. Dabei wird dem Druck der Wassermasse über *h* durch den äußeren Luftdruck das Gleichgewicht gehalten. Sobald das Wasser bis *h* herabgekommen ist, hört freilich das gleichmäßige Ausfließen auf, und es findet natürlich gar kein Ausfluß mehr statt, wenn das Wasser mit *n* in gleicher Höhe steht.

Man kann auch zu demselben Zwecke ein kugelförmiges Gefäß, das einen etwas langen Hals hat, mit der Flüssigkeit füllen, und dasselbe mit dem Halse, der nahe an seinem unteren Ende in der Seitenwand eine feine Oeffnung hat, in das Wasser des Ausflußgefäßes tauchen, so daß die feine Seitenöffnung gerade

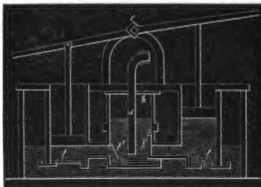
den Wasserspiegel berührt. Der letztere sinkt nun, indem das Gefäß sich entleert; dadurch wird die seine Oeffnung frei und es dringt Luft durch dieselbe in das kugelförmige Gefäß, dessen Wasser nun durch die untere Oeffnung des Halses in das zweite Gefäß fließt, dergestalt, daß das Niveau im letzteren bis zu einer gewissen Höhe konstant bleibt.



Zur Erreichung einer konstanten Druckhöhe benutzt man auch den sogenannten Schwimmer von Prony, welchen nebenstehende Figur in seiner einfachsten Gestalt zeigt. Im Ausflußgefäße schwimmt ein Kasten, welcher durch Stäbe mit einem zweiten Kasten verbunden ist, in den durch einen Trichter das Wasser des Gefäßes fließt. Man erkennt leicht, daß das Niveau des Wassers konstant bleibt, weil in demselben Verhältnisse, in welchem das Wasser aus dem Gefäße fließt, der zweite Kasten schwerer wird und der erste in dem Wasser tiefer einsinken muß.

Auf diese Weise wird also der Raum des ausgeflossenen Wassers durch den oberen Kasten bis zu einer gewissen Grenze immer wieder ersetzt.

Spritze. Die Feuerspritze, mit der wir es hier zu thun haben, gehört im Wesentlichen zu den Druckpumpen (s. d. Art. *Pumpe*, Bd. V. S. 490 ff.). Die gewöhnliche, größere Spritze dieser Art besteht aus einem mit Wasser gefüllten Kasten (s. beistehende Figur), in welchem sich zwei Pumpenstiefel mit den zugehörigen Kolben befinden, und einem Windkasten b. Wird der eine Kolben, z. B. rechts, mittelst des bei e drehbaren Hebels gehoben, so dringt das Wasser durch das Ventil l in den Stiefel, während der andere Kolben

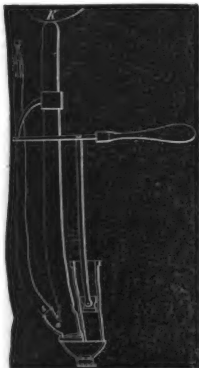


niedergeht und das Wasser durch das Ventil l' (links) in den Windkessel b treibt u. s. f. Je mehr Wasser in diesen Kessel gelangt, desto stärker wird auch die Luft in dem oberen Theil desselben comprimirt. Der Druck der comprimirt Luft treibt nun das Wasser in das Rohr s, aus dem es mit großer Gewalt hervorspringt. Auf dieses Rohr, welches beinahe bis auf den Boden

des Kessels reicht, wird noch eine Röhre oder ein Schlauch mit einer engeren Oeffnung, der sogenannte Schwanenhals, geschraubt. — Die nachstehende Figur zeigt eine kleine Handspritze von Henschel. Man sieht unten eine Druckpumpe und ein kurzes Ansaugrohr *a b*, welches mit einem Schlauche in Verbindung steht. Eine Krücke *K* dient zum Festhalten der Spritze.

Sprödigkeit, s. Dehnbarkeit.

Sprungkegel. Wenn man einen Trichter mit der weiten Ründung nach unten kehrt, auf die enge Ründung den Finger legt, hierauf ihn in Wasser senkt, bis nur noch wenig von der Spitze hervorragt und nun endlich den Finger schnell



abhebt, so wird aus der Oeffnung desselben ein kurzer Wasserstrahl herausgeschossen. Beim Einsenken des Trichters kann nämlich wegen des auf die Ründung gehaltenen Fingers die Luft aus dem Innern desselben nicht entweichen; es erlangt also das Wasser in ihm nicht das Niveau des ihn umgebenden Wassers. Wird aber hierauf der Finger abgehoben, so steigt das Wasser in ihm schnell empor, strebt jedoch in Folge der erlangten Geschwindigkeit eben so hoch über das Niveau des umgebenden Wassers zu steigen, als es vorher unter demselben stand. Die hier eintretende Schwankung ist der bei anderen oscillatorischen Bewegungen zu vergleichen. Die Trichterform begünstigt das Herausspringen des Strahles, ob schon es nicht durchaus erforderlich ist, daß das obere Ende genau conisch sei, so als ob der Durchmesser der aufsteigenden Wassermasse stets gleichmäßig verringert werden müßte, vielmehr genügt jede andere conoidische Gestalt. Ein Cylinder oder besser ein abgekürzter Kegel, dessen beide Grundflächen an Größe nicht sehr verschieden sind, oben mit einer Platte bedeckt, in deren Mitte sich die

geeignete Oeffnung befindet, zeigt die Erscheinung gleichfalls. Parrot *), der diesen Versuch zuerst anstellte, wandte drei Formen des Apparates an. Daß übrigens durch die conoidische Gestalt des oberen Theiles die Wirkung verstärkt wird, folgt aus den Resultaten, die Parrot durch seinen Versuch erhielt. Eine 12 Zoll lange und 2,5 Zoll weite cylindrische Röhre, deren Platte eine Oeffnung

*) Grundriß der theoretischen Physik. Th. I. S. 393. Entretiens sur la Physique. T. II. p. 142.

von 6 Linien hat, gab ganz ins Wasser getaucht eine Sprunghöhe von 9 Fuß, ein abgekürzter Regel von 2,5 Zoll und 6 Linien Durchmesser der beiden Oeffnungen bei 12 Zoll Höhe gleichfalls nur 9 Fuß, ein oben conoidisch gestalteter Regel aber von gleicher Höhe und 2,5 Zoll unterer und 6 Linien oberer Oeffnung einen Strahl von etwa 15 Fuß Höhe. Eine Abänderung dieses Apparates erhält man, wenn man einen oben verschlossenen Sprungregel mit einer kurzen Ansaugröhre verseht, die mit dem Horizont einen Winkel von 45° bildet. — Vergl. auch d. Art. Stoßheber.

Stahl, s. Eisen.

Stanniol, s. Zinn.

Statik ist die Wissenschaft von den Gleichgewichtsgesetzen der Körper (s. Art. Mechanik, Bd. IV. S. 952 ff.). Wenn mehrere Kräfte auf einen Körper einwirken, so kann das Verhältniß zwischen denselben von der Art sein, daß sie keine Bewegung des Körpers hervorzubringen vermögen. Die Kräfte halten sich dann einander im Gleichgewichte; und insofern ist die Statik im Allgemeinen die Wissenschaft vom Gleichgewichte der Kräfte. In Hinsicht auf den Aggregatzustand der Körper glebt es aber eine Statik der starren, tropfbarflüssigen und gasförmigen Körper.

Bei Entwicklung der allgemeineren statischen Grundlehren betrachtet man zunächst das Verhalten mehrerer Kräfte, welche zusammen auf einen einzigen (materiellen) Punkt wirken, und geht dann zu dem Falle über, wo die Kräfte gleichzeitig auf verschiedene materielle Punkte wirken, die aber auf irgend eine Weise fest mit einander verbunden sind. Und hiernach betrachtet man jeden festen oder starren Körper als ein System materieller Punkte, welche in fester und unveränderlicher Verbindung unter einander stehen. Auch haben die kleinsten Massentheilchen eines starren Körpers thatsächlich das Bestreben, in einer bestimmten gegenseitigen Lage zu verharren. Äußere Einwirkungen haben zwar eine Verdrückung dieser Theilchen und demgemäß wohl auch eine Formveränderung des Körpers zur Folge, doch kann man hiervon zunächst absehen und dessenungeachtet Resultate gewinnen, welche den wirklichen Gleichgewichtsverhältnissen in der Natur entsprechen, obgleich eine umfassende Betrachtung dieser Verhältnisse, namentlich in Hinsicht elastischer fester Körper, auch eine Berücksichtigung der inneren (sogenannten molecularen) Bewegungen der kleinsten Massentheilchen erfordert.

Man nennt in der Statik, wie in der Mechanik überhaupt, jede Ursache, welche Bewegung hervorbringt oder hervorzubringen sucht, Kraft. Um nun solche Kräfte, ohne Rücksicht auf ihre besondere Beschaffenheit mit einander vergleichen und messen zu können, ist eine Einheit erforderlich. Hat man nun zwei Kräfte, die auf denselben Punkt nach gerade entgegengesetzten Richtungen wirken, so kann man sie als gleich groß betrachten, falls sie sich gegenseitig in ihrer Wirkung aufheben oder im Gleichgewichte halten.

Hiernach werden zwei oder drei gleiche Kräfte, in derselben Richtung auf denselben Punkt wirkend, eine zwei- oder dreimal so große Kraft ergeben u. s. f. Auf diese Weise lassen sich die Kräfte, ohne Rücksicht auf ihre besondere Beschaffenheit, messen und durch Zahlen ausdrücken.

Wenn mehrere Kräfte nach derselben Richtung auf einen Punkt wirken, so läßt sich ihre Gesamtwirkung einer einzigen Kraft zuschreiben, welche der Summe

aller einzelnen Kräfte gleich ist. Wirken aber zwei ungleiche Kräfte nach gerade entgegengesetzten Richtungen auf einen Punkt, so kann man die Gesamtwirkung einer Kraft beilegen, welche dem Unterschiede dieser Kräfte gleich ist und im Sinne der größeren Kraft wirkt. Und eben so verhält es sich bei einer größeren Anzahl von Kräften, die theils in demselben, theils im entgegengesetzten Sinne auf einen Punkt wirken. Man erkennt leicht, daß zwei auf einen Punkt wirkende Kräfte sich das Gleichgewicht halten, wenn sie gleich groß und ihre Richtungen gerade entgegengesetzt sind.

Wenn die Richtungen zweier Kräfte, welche auf einen Punkt wirken, einen Winkel mit einander einschließen, so kann diejenige Kraft, welche diesen beiden Kräften hinsichtlich der Wirkung gleichgeltend ist, weder ihrer Summe, noch ihrer Differenz gleich sein. Eine jede von diesen Kräften sucht den Punkt im Sinne ihrer Richtung zu bewegen, so daß derselbe, unter dem alleinigen Einflusse dieser Kraft, in einer gewissen Zeit (Secunde) einen bestimmten Weg (in der Richtung der Kraft) zurücklegen würde. Die aus dem gleichzeitigen Zusammenwirken beider Kräfte resultirende Bewegung geschieht nun nach der Diagonale des Parallelogramms, das sich aus den beiden Weglängen construiren läßt, welche der Punkt vermöge der Wirkung der einen und dann der anderen Kraft in der Zeiteinheit beschreiben würde. (S. Art. Mechanik, Bd. IV. S. 952 ff. und Art. Bewegung, Bd. I. S. 816 ff.) Stellt man aber zwei Kräfte, die unter irgend einem Winkel auf einen Punkt wirken, der Größe und Richtung nach durch die Längen zweier Linien dar, in deren Richtungen sie den Punkt zu bewegen suchen, so ist auch die Mittelkraft, welche die beiden Kräfte hinsichtlich ihrer Gesamtwirkung vertreten kann, der Größe und Richtung nach gegeben durch die Diagonale des Parallelogramms, das sich aus jenen, die Seitenkräfte darstellenden Linien bilden läßt (vergl. Artikel Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte). Sind P und Q die Werthe der beiden Seitenkräfte, und ist α der Winkel, den ihre Richtungen mit einander machen, so ist,



falls man die Mittelkraft oder Resultirende durch R bezeichnet (s. beisteh. Figur), nach bekannten trigonometrischen Lehren $R^2 = P^2 + Q^2 + 2 PQ \cos \alpha$. Ist $\alpha = 90^\circ$, so hat man $R^2 = P^2 + Q^2$.

Der Winkel x , welchen die Resultirende R mit der Seitenkraft P macht, findet sich aus der Proportion $\sin x : \sin \alpha = Q : R$.

Nach dem Obigen halten sich zwei Kräfte das Gleichgewicht, wenn sie gleich groß sind und nach entgegengesetzten Richtungen auf einen Punkt wirken.

Es mögen nun drei Kräfte P , Q und S nach den Richtungen MA , MB , MC auf den Punkt M wirken. Für den Fall des Gleichgewichts muß dann eine jede von diesen Kräften der Mittelkraft der beiden anderen gleich und entgegengesetzt sein. Ist MD die Verlängerung von MC (s. umstehende Fig. 1.), so wird die Mittelkraft von P und Q nach MD gerichtet sein. Bezeichnet man sie durch R , so hat man $R = S$. Durch Vergleichung der Mittelkraft R mit jeder der Seitenkräfte P und Q erhält man die Proportionen:

$$\begin{aligned} R : Q &= \sin AMB : \sin AMD \\ R : P &= \sin AMB : \sin BMD \end{aligned} \quad (1)$$

Da nun $\angle AMD = 180^\circ - \angle AMC$, und $\angle BMD = 180^\circ - \angle BMC$; so ist auch $\sin \angle AMD = \sin \angle AMC$ und $\sin \angle BMD = \sin \angle BMC$.

Daher hat man

$$S : Q : P = \sin \angle AMB : \sin \angle AMC : \sin \angle BMC.$$

Wenn also die drei Kräfte am Punkte M im Gleichgewichte sind, so ist jede derselben dem Sinus des Winkels proportional, welchen die Richtungen der beiden anderen einschließen.“

Aus den Proportionen (1) folgt noch $P : Q = \sin \angle BMD : \sin \angle AMD$. Zieht man nun von irgend einem Punkte O, der in der Richtung der Mittelkraft liegt, die senkrechten Linien OE und OF auf die Richtungen der Seitenkräfte P und Q, so entstehen die rechtwinkligen Dreiecke MEO und MFO, in denen

$$\text{ist: } \frac{OE}{MO} = \sin \angle AMD, \quad \frac{OF}{MO} = \sin \angle BMD.$$

Setzt man diese Werthe in die zuletzt aufgestellte Proportion, so ist $P : Q = OF : OE$, d. h. die Seitenkräfte verhalten sich umgekehrt wie die senkrechten Linien, die auf ihre Richtungen von irgend einem Punkte in der Richtung der Mittelkraft gezogen sind. Und rückwärts gehört der Punkt O der Richtung der Mittelkraft an, wenn sich die Seitenkräfte verkehrt wie die senkrechten Linien OE und OF verhalten. Aus der Proportion folgt die Gleichung $P \cdot OE = Q \cdot OF$.

Man nennt nun das Product einer Kraft in die senkrechte Linie, welche von einem Punkte auf ihre Richtung gezogen ist, das statische Moment der Kraft in Bezug auf diesen Punkt.

Man habe zwei Kräfte P und P', die am Punkte M nach den Richtungen der Linien (s. beistch. Fig. II.) wirken, und R sei ihre Mittelkraft. Von dem Punkte O, der in der Ebene dieser Kräfte liegt, ziehe man auf die Richtungen dieser letzteren die senkrechten p, p', r; und denke sich nun ferner jede dieser drei Kräfte in zwei andere zerlegt, von denen die eine in die Richtung der Linie MO und die andere in die Richtung der auf MO senkrechten aMa' fällt. Dann ist die Seitenkraft von R, die nach Ma gerichtet ist, = $R \sin \angle RMO$ oder, da $\sin \angle RMO$

$$= \frac{r}{l} \text{ ist, falls man die Linie MO durch l bezeichnet,} = R \cdot \frac{r}{l}.$$

In gleicher Weise hat man für die Seitenkräfte von P und P', deren Richtungen in die Linie aMa' fallen, $\frac{Pp}{l}$ und $\frac{P'p'}{l}$.



Es können nun hier zwei Fälle eintreten: die Linie MO kann nämlich innerhalb oder außerhalb des Winkels liegen, den P und P' mit einander machen.

I.



Den zweiten Fall stellt nebenstehende Fig. I. dar, wo die auf MO senkrechten Seitenkräfte von P und P' in demselben Sinne wirken. Im ersten Falle, den Fig. II. S. 72 darstellt, wirken sie dagegen im entgegengesetzten Sinne. Da nun R die Mittelkraft von P und P' ist, so wird die in der Linie aMa' liegende Seitenkraft von R im ersten Falle der Differenz der Seitenkräfte von P und P', im zweiten aber der Summe derselben gleich sein. Man hat daher für beide Fälle $Rr = Pp \pm P'p'$.

Das Moment der Mittelkraft der beiden Kräfte P und P' ist daher, je nach den Umständen, gleich der Summe oder dem Unterschiede der Momente dieser Kräfte. Nimmt

man den Punkt O als fest und die Linien Or, Op, Op' als ein unveränderliches System an, so werden die drei Kräfte, die an den Endpunkten r, p, p' dieser Linien wirksam sein mögen, im Falle der nebensteh. Figur ihre Angriffspunkte nach derselben Richtung um den Punkt O zu drehen suchen, während im Falle der Fig. II. S. 72 die Kräfte P und P' die Punkte p, p' in entgegengesetzten Richtungen zu drehen streben. Je nachdem nun die Kräfte P und P' ihre Angriffspunkte in demselben oder im entgegengesetzten Sinne um den Punkt O drehen, ist das Moment der Mittelkraft gleich der Summe oder dem Unterschiede der Momente dieser beiden Kräfte.

Man nennt einen solchen Punkt, wie hier O, gewöhnlich den **Mittelpunkt der Momente**.

Die vorstehende Betrachtung läßt sich nun auch für den Fall erweitern, wo man eine beliebige Anzahl von Kräften hat, die in derselben Ebene liegen, und ihre Angriffspunkte, die fest mit einander verbunden sind, um den Mittelpunkt der Momente zu drehen suchen. Das Moment der Mittelkraft ist gleich der Summe der Momente von den Kräften, welche eine Drehung in demselben Sinne, wie die Mittelkraft, zu bewirken suchen, weniger der Summe aus den Momenten der Kräfte, welche eine Drehung im entgegengesetzten Sinne anstreben. Allgemein kann man sagen: das Moment der Mittelkraft ist gleich der algebraischen Summe aus den Momenten der Seitenkräfte. Ist diese Summe gleich Null, so findet Gleichgewicht statt.

Da man einen festen Körper als ein System von Punkten betrachten kann, die (innerhalb gewisser Grenzen) unveränderlich mit einander verbunden sind, so läßt sich auch der Angriffspunkt einer Kraft, ohne daß ihre Wirkung auf einen Körper dadurch verändert wird, nach irgend einem anderen Punkt des letzteren hin versetzen, falls nur dieser Punkt in der Richtung der Kraft liegt.

II.



Hat man zwei Kräfte, die nach den Richtungen AC und BD (s. nebenstehende Fig. II.) auf die fest mit einander verbundenen Punkte A und B wirken, so kann man den Durchschnittspunkt E der Kraft-

VI.

10

Lage dieselbe, wenn sich die Kräfte P und Q wie immer um ihre Angriffspunkte drehen, sofern sie nur unter einander parallel bleiben. Wirken P und Q nach parallelen aber entgegengesetzten Richtungen, so ist die Mittelkraft ihrem Unterchiede gleich und wirkt im Sinne der größeren. Man hat also $R = Q - P$, falls Q größer als P ist.

Es ist nun leicht, die Resultirende einer beliebigen Anzahl paralleler Kräfte zu bestimmen, die theils in demselben, theils im entgegengesetzten Sinne wirken, denn nur die Punkte, an denen sie angebracht sind, unveränderlich mit einander verbunden sind. Man bildet nämlich zuerst aus zwei Kräften eine Resultirende, legt diese mit der dritten Kraft zusammen u. s. f. Die Resultirende aller parallelen Kräfte ist gleich der Summe derjenigen, welche in einem Sinne wirken, weniger der Summe derjenigen, die im entgegengesetzten Sinne wirken, also kurz gleich der algebraischen Summe aller gegebenen Kräfte. Ihre Richtung ist aber der gemeinschaftlichen Richtung aller Seitenkräfte parallel. Bezeichnet man die Resultirende durch R und die Seitenkraft durch P, P', P'', \dots so ist also $R = P + P' + P'' + \dots$

Die bisherigen Betrachtungen enthalten auch die Theorie des Hebels (s. d. Art.), die wir hier hervorheben wollen.

Sind die Angriffspunkte der Kräfte P und Q (s. beistehende Figur) durch eine feste, unbiegsame Linie, welche um einen ihrer Punkte C drehbar ist, unveränderlich mit einander verbunden, so hat man einen Hebel. Der gemeinschaftliche Angriffspunkt der Kräfte P und Q ist der



Durchschnittspunkt E ihrer Richtungen; und die Resultirende EH dieser Kräfte muß durch den festen Punkt C gehen und hier aufgehoben werden, wenn Gleichgewicht am Hebel stattfinden soll. Es seien vom Punkte C , dem Stützpunkte des Hebels, die senkrechten Linien CF und CG auf die Richtungen der Kräfte P und Q gezogen. Man hat dann nach

dem Früheren für das Gleichgewicht $P : Q = CG : CF$, oder $P \cdot CF = Q \cdot CG$.

Die Kräfte P und Q suchen den Hebel in entgegengesetzten Richtungen um den Punkt C zu drehen, und die Bedingung des Gleichgewichts besteht darin, daß diese Kräfte im umgekehrten Verhältnisse der Linien CE und CG , d. h. der Hebelarme stehen, oder daß die statischen Momente einander gleich sind.

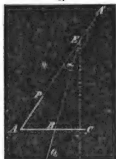
Denkt man sich die Punkte F und G durch feste gerade Linien mit dem Punkte C verbunden, so läßt sich der geradlinige Hebel AB auch durch den Winkelhebel ECG ersetzen.

Die Größe der Resultirenden $EC = R$ ergibt sich aus der Gleichung $R^2 = P^2 + Q^2 + 2PQ \cos \alpha$, wenn man den Winkel, den die Richtungen der Kräfte P und Q einschließen, durch α bezeichnet. Und hiermit ist auch zugleich der Druck bestimmt, welchen der Stützpunkt C für den Fall des Gleichgewichts auszuhalten hat.

Wenn aber die Kräfte P und Q auf derselben Seite des Stützpunktes C ,

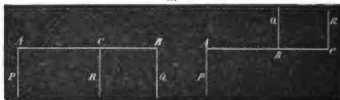
also nach den Richtungen EA' und EB (s. beistehende Fig. I.) auf ihren gemeinschaftlichen Angriffspunkt E wirken, so ist der Winkel $A'EB$ das Supplement des Winkels α . Daher $\cos A'EB = \cos (180^\circ - \alpha) = -\cos \alpha$, und $R^2 = P^2 + Q^2 - 2PQ \cos \alpha$.

I.



Nimmt man an, daß die Richtungen der Kräfte P und Q einander parallel sind, so entfernt sich der Punkt E ins Unendliche und der Winkel α wird verschwindend klein. Es ist also $\cos \alpha (= 0) = 1$. Daher folgt für den Druck auf den Stützpunkt aus den obigen Gleichungen für die Resultierende $R = P + Q$ und $R = Q - P$, falls $Q > P$ ist. Die parallelen Kräfte P und Q (s. beistehende Fig. II.) verhalten sich aber (S. 74) umgekehrt wie ihre Entfernungen vom Stützpunkte. Und hieraus läßt sich leicht die Lage des Stützpunktes finden, falls die Kräfte P und Q nebst ihrer Entfernung l von einander gegeben sind. Ist nämlich

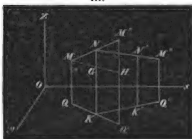
II.



x der unbekannte Abstand des Stützpunktes von der größeren Kraft Q , so ist im ersten Falle, wo die parallelen Kräfte auf verschiedenen Seiten des Stützpunktes liegen, $P : Q = x : l - x$ oder $P : P + Q = x : l$, also $x = \frac{lP}{P + Q}$.

Im zweiten Falle, wo die Kräfte im entgegengesetzten Sinne auf derselben Seite des Stützpunktes wirken, hat man $P : Q = x : l + x$ oder

III.



$P : Q - P = x : l$, daher $x = \frac{lP}{Q - P}$.

Der Angriffspunkt der Mittelkraft einer beliebigen Anzahl paralleler Kräfte oder der Mittelpunkt dieser Kräfte läßt sich bequem mittelst dreier Coordinaten, bezogen auf die drei rechtwinkligen Axen, seiner Lage nach bestimmen *). In nebensteh. Fig. II. seien M, M', M'' u. die Angriffspunkte der parallelen Kräfte P, P', P'' u., Ox, Oy, Oz sind drei willkürlich gezogene rechtwinklige Coor-

*) Poisson, Traité de Mécan. 2. édit. Deutsch von Stern. Th. I. S. 78.

binatenaren. Durch x, y, z seien die Coordinaten von M , durch x', y', z' die Coordinaten von M' , durch x'', y'', z'' die von M'' bezeichnet etc. Diese Coordinaten sowohl als auch die Kräfte sind gegebene Größen, die positiv oder negativ sein können.

Q, Q', Q'' etc. seien die Projectionen der Punkte M, M', M'' etc. auf die Ebene der x und y . Man hat dann $MQ = z, M'Q' = z', M''Q'' = z'',$ etc.

Endlich mögen x_1, y_1, z_1 die drei zu bestimmenden Coordinaten des Mittelpunktes der parallelen Kräfte sein.

Was nun zunächst die Mittelkraft $P + P'$ der beiden Kräfte P und P' anlangt, so wird sie in irgend einem Punkte N die gerade Linie MM' oder ihre Verlängerung treffen, je nachdem diese beiden Kräfte dasselbe oder entgegengesetzte Zeichen haben. Man hat aber in beiden Fällen $P' : P + P' = MN : MM'$.

Der Punkt K bezeichne die Projection von N auf die Ebene von x und y . Zieht man durch den Punkt M die Linie MGH parallel mit der geraden Linie QKQ' , welche die geraden Linien NK und $M'Q'$ in den Punkten G und H trifft, so hat man $MQ = GK = HQ'$.

Auch ist $MN : MM' = NG : M'H$. Verbindet man diese Proportion mit der vorigen, so folgt $(P + P') NG = P' \cdot M'H$.

Wird zu dieser Gleichung die identische Gleichung $(P + P') GK = P \cdot MQ + P' \cdot HQ'$ addirt, so ergibt sich $(P + P') NK = Pz + P'z'$.

Die Mittelkraft der beiden Kräfte $P + P'$ und P'' wird in einem Punkte N' die gerade Linie NM'' oder ihre Verlängerung treffen, je nachdem diese beiden Kräfte dasselbe oder entgegengesetzte Zeichen haben; und wenn K' die Projection von N' auf die Ebene der x und y ist, so findet man, wie im vorigen Falle, $(P + P' + P'') N'K' = (P + P') NK + P''z''$.

Daher ist $(P + P' + P'') N'K' = Pz + P'z' + P''z''$. Auf diese Weise fährt man mit den übrigen Kräften fort. Bezeichnet nun R die Mittelkraft aller parallelen Kräfte, so hat man zuletzt $Rz_1 = Pz + P'z' + P''z'' + \dots$

In der obigen Figur ist angenommen, daß alle Punkte M, M', M'' etc. auf derselben Seite der Ebene der x und y liegen, oder daß ihre Ordinaten, die der Axe der z parallel sind, alle dasselbe Zeichen haben. Die zuletzt gefundene Gleichung behält jedoch ihre Gültigkeit, wenn auch diese Ordinaten theils positiv, theils negativ sind.

„In allen Fällen ist das Moment der Mittelkraft einer beliebigen Anzahl von parallelen Kräften in Beziehung auf eine Ebene, die man willkürlich gewählt hat, gleich der algebraischen Summe der Momente dieser Kräfte in Beziehung auf dieselbe Ebene.“

Das Moment einer Kraft in Beziehung auf eine Ebene ist also das Product aus dieser Kraft in ihrem Abstand von dieser Ebene. Die Momente in Beziehung auf eine Ebene, die nur bei parallelen Kräften vorkommen, hängen nicht wie die Momente in Beziehung auf einen Punkt von der Richtung der Kraft ab, wohl aber von der Lage des Angriffspunktes der Kraft.

Werden nun die Momente der parallelen Kräfte in Beziehung auf die drei Coordinatenebenen genommen, so hat man nach den obigen Bezeichnungen

$$Rx_1 = Px + P'x' + P''x'' + \dots$$

$$Ry_1 = Py + P'y' + P''y'' + \dots$$

$$Rz_1 = Pz + P'z' + P''z'' + \dots$$

Diese drei Gleichungen enthalten im Verein mit der Gleichung $R = P + P' + P'' + \dots$ die allgemeine Theorie der parallelen Kräfte. Die drei Coordinaten des Mittelpunktes der parallelen Kräfte sind durch dieselben bestimmt. Die Richtung der Mittelkraft ergibt sich sofort, wenn man durch den seiner Lage nach bestimmten Mittelpunkt nach der Richtung, die das Zeichen von R anzeigt, eine gerade Linie parallel mit den gegebenen Kräften zieht.

Denkt man sich durch den Mittelpunkt der parallelen Kräfte beliebige Ebenen gelegt, so ist die Summe der Momente dieser Kräfte in Beziehung auf jede derartige Ebene gleich Null. Nimmt man eine solche Ebene für die der x und y , so ist $z_1 = 0$, und $Pz + P'z' + P''z'' + \dots = 0$.

Soll nun in einem System paralleler Kräfte, die an einen festen, völlig freien Körper angebracht sind, Gleichgewicht stattfinden, so muß irgend eine dieser Kräfte, die man aus dem Systeme herausfondert, der Mittelkraft aller übrigen gleich und der Richtung nach entgegengesetzt sein. Nennt man diese Kraft P und die Mittelkraft der übrigen R' , so hat man also $P + R' = 0$, oder da $R' = P' + P'' + P''' + \dots$, $P + P' + P'' + P''' + \dots = 0$.

Um aber die entgegengesetzten Richtungen der Kräfte P und R' näher zu bezeichnen, seien α, β, γ die drei Coordinaten des Mittelpunktes der parallelen Kräfte $P', P'' \dots$.

Es ist dann

$$R'\alpha = P'x' + P''x'' + \dots$$

$$R'\beta = P'y' + P''y'' + \dots$$

$$R'\gamma = P'z' + P''z'' + \dots$$

Dieser Mittelpunkt ist der Angriffspunkt der Mittelkraft R' , welcher mit dem Angriffspunkt der Kraft P auf einer und derselben Linie liegen muß, die der gemeinschaftlichen Richtung der gegebenen Kräfte parallel ist. Denkt man sich der Einfachheit wegen die Ebene der x und y senkrecht auf dieser Richtung, so müssen die beiden Punkte auf derselben Linie, die auf dieser Ebene senkrecht steht, liegen. Da nun hiernach die beiden Punkte dieselbe Projection auf diese Ebene haben, so müssen ihre Coordinaten, die den Aren der x und y parallel sind, einander gleich sein. Und so hat man $\alpha = x$ und $\beta = y$.

Substituiert man nun x und y statt α und β in den beiden ersten der vorhergehenden Gleichungen, so hat man, da $R' = -P$,

$$Px + P'x' + P''x'' + \dots = 0$$

$$Py + P'y' + P''y'' + \dots = 0$$

Die Summe der Momente aller Kräfte P, P', P'', \dots ist also in Beziehung auf die Ebenen der x und z , und der y und z , die ihren Richtungen parallel sind, gleich Null.

„Ein System paralleler Kräfte, die an einen festen, völlig freien Körper angebracht sind, ist hiernach im Gleichgewichte, wenn 1) die Summe dieser Kräfte Null ist, und 2) die Summe ihrer Momente in Beziehung auf zwei beliebige Ebenen, die ihrer gemeinschaftlichen Richtung parallel sind, ebenfalls Null ist.“

Nimmt man einen Punkt des festen Körpers als unbeweglich an, so muß für den Fall des Gleichgewichtes der parallelen Kräfte die Summe ihrer Momente in Beziehung auf zwei Ebenen, die durch diesen Punkt gehen und ihrer Richtung parallel sind, Null sein. Ihre Mittelkraft braucht aber in diesem Falle nicht gleich Null zu sein, da sie durch den Widerstand des festen Punktes aufgehoben wird.

Ist dieser feste Punkt der Mittelpunkt der parallelen Kräfte, so ist die Summe der Momente in Beziehung auf jede Ebene, die durch diesen Punkt geht, gleich Null, und die Kräfte halten sich im Gleichgewichte.

Wird ein fester Körper durch eine unbewegliche Ase zurückgehalten, um die er sich nur frei herumdrehen kann, so werden die parallelen Kräfte, die an verschiedenen Punkten dieses Körpers angebracht sind, im Gleichgewichte sein, wenn die Summe der Momente in Beziehung auf die Ebene, die durch diese Ase parallel mit der Richtung der Kräfte gezogen ist, Null ist, indem dann ihre Mittelkraft in diese Ebene fällt und durch den Widerstand der festen Ase aufgehoben wird.

Wir haben nun noch einen Fall hervorzuheben, der bei einem System paralleler Kräfte vorkommen kann. Dieser Fall besteht nämlich darin, daß sich die gegebenen Kräfte auf zwei gleiche Kräfte reduciren, die in entgegengesetztem Sinne wirken. Die Mittelkraft ist dann gleich Null, d. h. es giebt hier keine solche Kraft, und eben so wenig einen Mittelpunkt der gegebenen parallelen Kräfte, da die Coordinaten desselben unendlich groß werden.

Doch können zwei Paare solcher Kräfte, die gleich groß und parallel sind, aber im entgegengesetzten Sinne wirken, sich im Gleichgewichte halten. Die



nebenstehende Figur zeigt zwei Kräftepaare dieser Art; P und $-P$ bilden das eine, P' und $-P'$ das andere Paar. Man nennt ein solches Paar von gleichen Gegenkräften gewöhnlich ein „Kräftepaar“. Zieht man nun von einem Punkte O aus, der in der Ebene dieser Kräfte liegt, auf die Richtungen der letzteren senkrechte Linien, und setzt $OM = a$, $ON = OM - MN = a - b$, $OM' = a'$, $ON' = OM' - M'N' = a' - b'$; so ist für das Gleichgewicht

$$Pa - P(a - b) - P'a' + P'(a' - b') = 0, \text{ oder } Pb = P'b'.$$

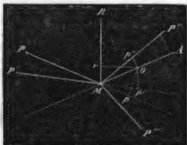
Zwei solche Kräftepaare halten sich also im Gleichgewichte, wenn das Product aus einer Kraft in ihren Abstand von der Gegenkraft bei einem Paare so groß ist wie bei dem anderen. Nennt man das Product aus einer Kraft des Paares in den senkrechten Abstand von der anderen Kraft das Moment des Kräftepaars, so kann man auch sagen, daß für den Fall des Gleichgewichtes zweier Kräftepaare ihre Momente gleich sind *).

Man kann nun auch eine allgemeine Gleichung des Gleichgewichtes aufstellen, die einen ergiebigen unter dem Namen des Princips der virtuellen Geschwindigkeiten bekannten Satz der Mechanik ausdrückt.

Man denke sich unter M den Angriffspunkt einer beliebigen Anzahl von Kräften P, P', P'', \dots (s. umstehende Figur), die theils in derselben Ebene, theils in verschiedenen Ebenen auf diesen Punkt nach den Richtungen MP, MP', \dots wirken. MR sei die Größe und Richtung der Mittelkraft R aller dieser Kräfte. Zieht man nun durch den Punkt M in irgend einer Richtung die gerade

*) Weisbach's Mechanik, Th. I. S. 77.

Linie MA, so kann man eine jede von den Kräften R, P, P', P'', \dots in zwei andere Kräfte zerlegen, deren eine parallel mit der Linie MA, die andere aber



senkrecht auf dieser Linie ist. Es ist dann die Seitenkraft von R nach der Richtung der Linie MA gleich der Summe der Seitenkräfte von P, P', P'', \dots nach derselben Richtung. Bezeichnet man jetzt die Winkel, welche die Richtungen der Kräfte P, P', P'', \dots mit der Linie MA machen, durch $\alpha, \alpha', \alpha'', \dots$ und den Winkel, welchen die Mittelkraft R mit dieser Linie einschließt, durch a ; so ist $R \cos a = P \cos \alpha + P' \cos \alpha' + P'' \cos \alpha'' + \dots$

Nimmt man nun auf der Linie MA irgend einen Punkt O an, und projectirt die dadurch erhaltene Linie MO auf die Richtungen der Kräfte R, P, P', P'', \dots (oder auf ihre Verlängerungen), indem man von dem Punkte O aus senkrechte Linien auf diese Richtungen zieht; so ergibt sich, wenn man diese Projectionen Mr, Mp, Mp', \dots durch r, p, p', \dots bezeichnet, $r = MO \cos a, p = MO \cos \alpha, p' = MO \cos \alpha', p'' = MO \cos \alpha'', \dots$

Diese Größen sind positiv oder negativ, je nachdem die Projection auf die Richtung der Kraft selbst oder auf ihre Verlängerung fällt. Setzt man aber die hieraus sich ergebenden Werthe von $\cos a, \cos \alpha, \cos \alpha', \dots$ in die obige Gleichung, so folgt

$$Rr = Pp + P'p' + P''p'' + \dots$$

Diese Gleichung gilt auch noch, wenn die Linie MO unendlich klein oder der Punkt O unendlich nahe bei M ist. Denkt man sich, daß durch die Wirkung der bezeichneten Kräfte R, P, P', \dots während eines Augenblicks der Punkt M in der Richtung der Kraft R durch einen unendlich kleinen Raum r bewegt werde, während ihn die Kraft P allein durch den unendlich kleinen Raum p in der Richtung MP , die Kraft P' allein durch den Raum p' nach MP' u. s. f. bewegt hätte; so besteht zwischen diesen Wegen und den Kräften stets die obige Gleichung. Die Kräfte werden sich aber um den Punkt M im Gleichgewichte halten und keine Bewegung dieses Punktes bewirken, wenn $Pp + P'p' + P''p'' + \dots = 0$ ist, d. h. für den Fall des Gleichgewichts ist die Summe der Producte aus jeder Kraft in den unendlich kleinen Raum, den der Punkt nach der Richtung jeder Kraft in einem Augenblick zu beschreiben sucht, gleich Null.

Man nennt nun eben die virtuelle Geschwindigkeit eines Punktes, der im Zustande des Gleichgewichts ist, die unendlich kleinen Wege, welche er im ersten Augenblicke der Störung des Gleichgewichts nach den Richtungen der störenden Kräfte beschreiben würde. Für den Fall des Gleichgewichts ist also die Summe der Producte aus jeder Kraft in die ihr entsprechende virtuelle Geschwindigkeit gleich Null. Das Gleichgewicht ist stets vorhanden, wenn die Gleichung $Pp + P'p' + P''p'' + \dots = 0$ für alle möglichen Versetzungen des Punktes statt hat, mag dieser nun völlig frei oder gezwungen sein, auf einer gegebenen Oberfläche oder krummen Linie zu bleiben. In Rücksicht einer Oberfläche genügt

es, wenn man die Versetzungen des Punktes nach den Richtungen zweier Arten betrachtet, die in der berührenden Ebene gezogen sind; und falls der Punkt auf einer gegebenen krummen Linie bleiben muß, nimmt man statt der Linie MO das Element dieser krummen Linie, und statt p, p', p'', \dots die Projectionen dieses Elementes auf die Richtungen der Kräfte P, P', P'' etc.

Das sogenannte Princip der virtuellen Geschwindigkeiten läßt sich auch auf ein System mehrerer Punkte, die auf irgend eine Weise unter einander verbunden sind, und daher auch auf einen Körper von irgend einer Gestalt anwenden. Anstatt jedoch hierbei zu verweilen, wollen wir an diesem Orte noch den Begriff des mechanischen Momentes hervorheben, um so mehr, als die Theorie der mechanischen Momente im Wesentlichen mit dem Princip der virtuellen Geschwindigkeiten zusammenfällt. Das mechanische oder Bewegungs-Moment ist das Product einer Kraft in den Weg, den der Angriffspunkt derselben in ihrer Richtung (oder in deren Verlängerung) beschreibt. Hat ein Punkt zwei gleiche, aber der Richtung nach entgegengesetzte Bewegungsmomente, so findet Gleichgewicht statt, indem gleichen Bewegungsmomenten gleiche Wirkungen entsprechen. Das Product einer Kraft in den Weg, welchen sie zurückgelegt hat, ist die Leistung dieser Kraft (s. d. Art. Mechanische Arbeit). So besteht nun an einem Hebel Gleichgewicht, wenn die mechanischen Momente der beiden an ihm angebrachten Kräfte gleich groß und einander entgegengesetzt sind (s. Art. Hebel, Bd. III. S. 710). Es wird dann keine Bewegung des Hebels stattfinden können. Nennt man die Kräfte P und P' , und die Wege, welche die entsprechenden Hebelsarme im Falle einer Drehung des Hebels gleichzeitig beschreiben würden, p und p' , so ist $Pp = P'p'$, oder $Pp - P'p' = 0$. Diese Gleichgewichtsbedingung läßt sich auch so ausdrücken, daß man sagt, für den Fall des Gleichgewichtes sei die algebraische Summe der mechanischen Momente gleich Null. Sind überhaupt in einem festen System von Punkten Kräfte unter einander im Gleichgewichte, so ist die algebraische Summe ihrer mechanischen Momente in Beziehung auf jede Bewegung gleich Null.

Wirken Kräfte nach verschiedenen Richtungen und in verschiedenen Ebenen, und es ist die algebraische Summe ihrer mechanischen Momente in Beziehung auf eine fortschreitende (progressive) Bewegung nach drei verschiedenen Richtungslinien und zugleich in Bezug auf drehende Bewegung um drei verschiedene nicht parallele Arten gleich Null, so halten sich die Kräfte unter einander im Gleichgewichte. —

Das Gewicht eines Körpers läßt sich als die Mittelkraft aller parallelen Kräfte betrachten, welche von Seiten der Schwere auf alle Massentheile desselben ausgeübt werden; es ist eine Kraft, die im Schwerpunkte des Körpers (s. Art. Schwerpunkt) vertical abwärts wirkt. Die Bedingungen des Gleichgewichtes eines schweren Körpers sind nun leicht zu erkennen. Wenn der Körper gerade in seinem Schwerpunkte unterstützt ist, so muß er in allen Lagen, die man ihm geben kann, im Gleichgewichte bleiben, weil die Wirkungen der Schwere, deren Resultirende stets durch den Schwerpunkt geht, hier in Folge der festen Stütze aufgehoben werden. Ist aber der Körper in irgend einem anderen Punkte unterstützt, so findet nur dann Gleichgewicht statt, wenn der Schwerpunkt vertical über oder unter dem Unterstützungspunkte liegt. In beiden Fällen wird die Wirkung der Schwere aufgehoben; allein im ersten Falle ist das Gleichgewicht nicht dauernd, sondern ein sogenanntes labiles (schwankendes) Gleich-

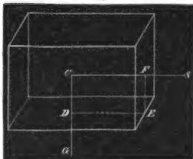
gewicht, im zweiten dagegen dauernd oder stabil. Man denke sich der Erläuterung wegen eine schwere, gleichartige Scheibe, deren Schwerpunkt mit ihrem Mittelpunkt zusammenfällt. Diese Scheibe habe zwei Löcher; das eine *a* vertical über, das andere *b* vertical unter dem Schwerpunkte. Steckt man nun einen Stab, um welchen sich die Scheibe als um ihre Ase drehen kann, durch das unter dem Schwerpunkte liegende Loch *b*, so findet Gleichgewicht statt, so lange der Schwerpunkt vertical über *b* liegt, weil in diesem Falle die durch den Schwerpunkt gehende Resultirende der Schwere durch die feste Ase in *b* aufgehoben wird. Erleidet aber die Scheibe nur im Mindesten eine Verrückung, so ist das Gleichgewicht aufgehoben, und der Schwerpunkt dreht sich so lange, bis er in eine Lage vertical unter *b* gekommen ist. Geht aber die Ase durch das oberhalb des Schwerpunktes liegende Loch *a*, so mag man die Scheibe nach rechts oder links drehen: sie kehrt wegen Einwirkung der Schwere stets in ihre vorige Gleichgewichtslage zurück, bei welcher der Schwerpunkt vertical unter *a* liegt. In diesem zweiten Falle ist also das Gleichgewicht ein dauerndes. Geht endlich die Drehaxe durch den Schwerpunkt der Scheibe, so verharrt sie in jeder Stellung im Gleichgewichte; sie zeigt weder ein Streben zurückzugehen, noch sich weiter zu entfernen. Das Gleichgewicht ist hier, wo der Körper in seinem Schwerpunkte unterstützt ist, ein sogenanntes indifferentes.

Befestigt man einen Körper an einem Faden, so daß er an diesem aufgehängt ist, so findet Gleichgewicht statt, falls der Schwerpunkt des Körpers senkrecht unter dem Befestigungspunkt des Fadens liegt.

Ein Körper, der auf einer horizontalen Unterlage steht, kann nur dann im Gleichgewichte sein, wenn die durch den Schwerpunkt gezogene Verticale (Schwerlinie) innerhalb der Basis fällt. Legt der Schwerpunkt des nebenstehenden Körpers in *c* (s. Fig. I.), so wirkt sein Gewicht vertical abwärts nach der Richtung *c d*. Die Wirkung der Schwere wird also hier nicht durch den Widerstand der Unterlage aufgehoben; der Körper muß deshalb umfallen. Daher sucht ein Körper, wenn ihn sonst nichts hindert, stets eine solche Lage zu gewinnen, wobei sein Schwerpunkt möglichst tief zu liegen kommt.



Soll ein Körper, der auf einer horizontalen Ebene ruht und gegen ein Fortschieben (im horizontalen Sinne) durch Reibungswiderstände u. dgl. gesichert ist, umgeworfen werden, so wird er eine Drehung um eine seiner Kanten erfahren. Es sei diese Kante *E* in nebenstehender Fig. II. Sobald der Schwerpunkt des Körpers vertical über der Umdrehungskante steht, fällt der Körper von selbst um, falls die umwerfende Kraft noch im Geringsten fortwirkt. Läßt aber die Kraft nach, bevor der Schwerpunkt in diese Lage gekommen ist, so kehrt der Körper von selbst, d. h. in Folge seines Gewichtes



oder vermöge der Wirkung der Schwere, in seine vorige Gleichgewichtslage zurück. Sei nun C der Schwerpunkt des Körpers, G das Gewicht des letzteren, welches am Punkte C vertical herabwirkt, und S die Kraft, welche den Körper umzuwerfen strebt. Man hat dann in Beziehung auf die Umdrehungskante E den Winkelhebel DEF, für welchen ist $S \cdot EF = G \cdot DE$, oder, falls man $EF = h$ und $DE = b$ setzt, $S \cdot h = G \cdot b$.

Wirkt die Kraft S nicht gerade horizontal, sondern unter irgend einem Winkel gegen den Horizont, so erhält man immer den Hebelarm für S, wenn man von E aus eine Senkrechte auf die Richtung dieser Kraft zieht. Diese Senkrechte ist der Hebelarm.

Aus der gefundenen Gleichung folgt $S = \frac{G \cdot b}{h}$.

Die Standfähigkeit oder Stabilität eines Körpers, — nämlich die Fähigkeit desselben, vermöge seines Gewichtes seine Stellung zu behaupten, — ist hiernach unter sonst gleichen Umständen um so bedeutender, 1) je größer sein Gewicht G ist, 2) je breiter seine Basis oder b ist, weil man dann auch seinen Schwerpunkt um so höher heben muß, ehe er vertical über die Umdrehungskante zu stehen kommt, 3) je kleiner h, oder je tiefer sein Schwerpunkt liegt, aus demselben Grund wie in 2).

Das Product $G \cdot b$ nennt man wohl auch das Maß der Stabilität. Man kann aber für dieses Maß noch einen anderen Ausdruck gewinnen, wenn man die Leistung oder die mechanische Arbeit (s. d. Art.) bestimmt, welche aufzuwenden ist, um einen Körper umzustürzen. Diese Arbeit ist nun gleich dem Producte aus dem Gewichte des Körpers in die Höhe, bis zu welcher sein Schwerpunkt steigen muß, damit der Körper die Grenze seines stabilen Gleichgewichtes erreiche; und dies ist nach dem Obigen der Fall, wenn der Schwerpunkt vertical über der Umdrehungskante steht.

Wenn eine homogene Kugel auf einer horizontalen Ebene liegt, so ist sie in allen möglichen Stellungen im Gleichgewichte, also überhaupt im indifferenten Gleichgewichte. Ein auf einer solchen Ebene liegendes Ellipsoid, welches durch Umdrehung einer Ellipse um die kleine Axe entstanden ist, befindet sich im stabilen Gleichgewichte, wenn es auf das Ende seiner kleinen Axe gestellt wird; dagegen ist es im labilen Gleichgewichte, wenn es auf dem Ende seiner großen Axe steht.

Wenn ein Körper mit zwei Punkten auf eine Ebene gestellt ist, so muß die vom Schwerpunkte herabgehende Senkrechte zwischen diese beiden Punkte, auf die sie verbindende gerade Linie fallen. So z. B. muß bei zweirädrigen Wagen die Senkrechte vom Schwerpunkte zwischen die beiden Räder auf die gerade Linie fallen, welche die Berührungspunkte der Räder mit dem Boden verbindet. Fällt sie mehr nach vorn oder hinten, so ist der Wagen nach vorn oder hinten zu schwer beladen; und wenn diese Wagen auf geneigte Ebenen zu fahren kommen, wo sie durch die Reibung zurückgehalten werden, so muß, damit sie nicht umschlagen, die Senkrechte des Schwerpunktes nicht außer der Linie der Berührungspunkte der Räder mit dem Boden fallen, was um so schwieriger zu erreichen ist, je höher die Räder sind und einen je größeren Raum die Ladung einnimmt. Doch läßt man bei der wirklichen Anwendung zweirädriger Wagen den Schwerpunkt etwas nach vorn fallen, so daß das Pferd (in der Gabeldeichsel) einen kleinen Theil der Last zu

tragen hat. Vierrädrige, beladene Wagen sind so lange gegen das Umwerfen gesichert, als die durch den Schwerpunkt gedachte Senkrechte innerhalb der durch die Räder gebildeten Basis fällt. Die Ladung ist so vorzunehmen, daß der Schwerpunkt des Ganzen möglichst tief zu liegen kommt.

Wenn also ein Körper auf eine mehr oder weniger ausgebreitete begrenzte Grundfläche gestellt wird, so findet das Gleichgewicht nur statt, wenn die Senkrechte vom Schwerpunkte innerhalb des Umfangs der Grundfläche fällt. Je größer der Umfang der letzteren ist, desto mehr kann der Schwerpunkt verrückt werden, ohne daß der Körper aufhört, unterstützt zu sein. Viele Spielereien, welche man in Bezug auf das Gleichgewicht ausgedacht hat, laufen auf die Geschicklichkeit hinaus, die Senkrechte des Schwerpunktes auf einer sehr kleinen Basis zu erhalten. Beim Balanciren eines Stabes und dergleichen wird der Körper in ein labiles Gleichgewicht gestellt, und es kommt nun darauf an, allen Zufälligkeiten zu begegnen, welche ein Verrücken aus dieser Stellung bewirken könnten, oder diese Stellung sofort wieder herzustellen *).

*) Es ist leichter einen langen und schweren Körper zu balanciren, namentlich wenn der schwerste Theil oben liegt, als einen leichten und kurzen, denn beim Fallen um gleiche Winkel muß die Spitze des längeren Körpers offenbar einen größeren Raum durchlaufen, als die Spitze des kürzeren, und man kann bei jenem leichter die Basis unterschieben, um den Fall zu verhüten. Bei den Seiltänzerkünsten bleibt die Basis unverrückt, aber der Körper muß so gehalten werden, daß sein Schwerpunkt stets senkrecht über der Basis bleibt. Erleichternd dient die Balancirstange, welche auf beiden Seiten mit Blei ausgegossen ist, und durch deren Verschiebung in den Händen oder Neigung der Schwerpunkt leicht so verändert werden kann, daß er immer senkrecht über dem Seile bleibt. Gingen die Enden der Stange bis unter die Füße des Balancieur und wären dieselben sehr schwer, so daß der Schwerpunkt desselben sammt der Stange unter die Füße des Künstlers fielen, so könnte er sich auf einer Spitze stehend nach allen Seiten wenden, als ob er sich herabstürzen wollte, und würde doch immer von selbst in die senkrechte Stellung wieder zurückkommen, denn er befände sich im stabilen Gleichgewichte. Man führt hiernach kleine Figuren von Holz aus, die auf einer Spitze balanciren, balancirt eine kleine dünne Münze auf einer Nadelspitze, indem man sie in einen Kork steckt und zu beiden Seiten in diesem zwei Gabeln einschiebt. Eben so hat man hölzerne Männchen mit langen Sägen, an deren Enden sich eine schwere Kugel befindet. Setzt man die Füße, welche Spitzen haben, an den Rand eines Tisches, so schwingt das Ganze wie ein Pendel und die Figur scheint am Tische zu sägen, bis sie endlich so ruht, daß der in die freie Luft fallende Schwerpunkt senkrecht unter der Stelle ist, wo die Füße mit den Spitzen aufstehen. So bindet man auch wohl eine volle Weinflasche in der Gegend des Stöpsels an das Ende eines Messers unter schiefem Winkel, und legt man dann die Spitze des Messers auf einen Tisch, so daß die Flasche herabhängt, so bleibt sie hängen, ohne herabzufallen, weil der Schwerpunkt derselben senkrecht unter die Messerspitze in die Luft fällt. Hierher gehören auch die Stehaufmännchen von leichtem Holz oder Kork, welche unten mit Blei ausgegossen und niedergelegt von selbst aufstehen, weil sie in stehender Stellung im stabilen Gleichgewichte sich befinden. Merkwürdig sind die schiefen Thürme zu Bologna und Pisa. Bei jenem trifft ein von dem oberen Rande herabgehendes Loth den Boden in 18 Fuß Entfernung von dem Fuße des Thurmes. Man weiß nicht gewiß, ob sie absichtlich in dieser ängstlichen Stellung gebaut sind, oder ob der Boden nachgegeben hat; gewiß ist, daß sie nur darum stehen ohne umzufallen, weil die Senkrechte vom Schwerpunkte der ganzen Masse nach dem Boden noch auf die Basis fällt. Interessant ist auch die von Russenbrof als chinesische Erfindung angegebene chinesische Puppe. Ein S-förmig gebogener, inwendig hohler und mit etwas Quecksilber zum Theil gefüllter, hölzerner Körper hat zwei nach entgegengesetzten Seiten hin gerichtete Unterstüzungen, denen man eben so eine den menschlichen Armen und Beinen ähnliche Gestalt giebt, wie man dem Ende die Form eines Kopfes ertheilt. Wird der Körper in einem Punkte unterstützt, so fließt das Quecksilber von diesem

Man denke sich nun noch einen Körper, der auf einer festen horizontalen Ebene liegt, die in einer gewissen Anzahl von Punkten unterstützt ist. Das Gewicht dieses Körpers wird einen Druck ausüben, der sich auf die Stützpunkte theilt; und es kann nach der Größe des Druckes gefragt werden, welcher auf jeden einzelnen Stützpunkt kommt. Der Einfachheit wegen sei die Anzahl der nicht in einer geraden Linie liegenden Stützpunkte drei, was dem Falle entspricht, wo der Körper auf einem Tische mit drei Beinen liegt, und zwar im Innern des geradlinigen Dreiecks, welches durch die drei Stützpunkte A, B, C (s. beistehende Figur) bestimmt ist, die den Beinen des Tisches entsprechen. Der Punkt c sei die Projection des Schwerpunktes des Körpers auf die Ebene des Tisches, und P, P', P'' seien die Lasten oder Druckkräfte, welche die Stützpunkte A, B, C oder die Füße des Tisches auszuhalten haben. Die Größe dieser Druckkräfte bestimmt man nun gewöhnlich auf folgende Weise. Man ziehe von den Punkten c und A die senkrechten Linien cE und



AD auf die Seite BC; dann ist das Product aus dem Gewichte G des Körpers in die Senkrechte cE , also $G \cdot cE$ das Moment der Umdrehung um die Seite AC.

Damit diese Umdrehung vermieden werde, muß das Product aus dem in A wirkenden Drucke P in die Senkrechte AD, nämlich $P \cdot AD$ ein Moment der Umdrehung geben, das dem vorigen gleich ist und entgegen wirkt. Man hat daher

$$G \cdot cE = P \cdot AD \text{ und hieraus } P = \frac{G \cdot cE}{AD}$$

Auf dieselbe Weise erhält man die Druckkräfte P' und P'' in den Stützpunkten B und C, wenn man von c und dem betreffenden Winkelpunkte des Dreiecks Perpendikel auf die gegenüberliegende Seite fällt, und rücksichtlich der letzteren die Drehungsmomente bestimmt *).

Statik tropfbar flüssiger Körper. Es ist eine wesentliche Eigenschaft flüssiger Körper, daß sich ihre Theilchen nach allen Richtungen hin leicht aneinander verschieben lassen (s. Art. Flüssigkeit, Bd. III. S. 284 ff.). Doch kann man immerhin auch die tropfbarflüssigen Körper als Verbindungen materieller Punkte betrachten, obschon der Zusammenhang zwischen ihren Theilchen so gering ist, daß sie jedem Versuche der Trennung leicht nachgeben. Vollkommen flüssig würde ein tropfbarer Körper sein, wenn sich seine Massentheilchen ohne den geringsten Widerstand aneinander verschieben ließen. Diesem Zustande vollkommenen Flüssigkeit nähern sich die in der Natur vorkommenden tropfbar flüssigen Körper mehr oder weniger; am meisten z. B. comprimirtes Schwefelwasser-

Oben zum anderen, rückt den Schwerpunkt über den Unterstützungspunkt hinaus und veranlaßt ein Ueberschlagen der Figur. Stellt man sie auf eine geeignete Treppe, so wiederholt sich dieses Ueberschlagen und die Figur rückt sich von selbst Stufe um Stufe von der Treppe herab. Ueber den berganlaufenden Cylinder und den berganlaufenden Kegel s. d. Art. Ebene.

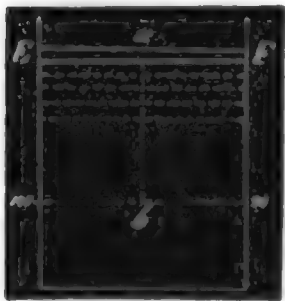
*) Bzgl. auch Grelle's Journ. für die reine und angewandte Mathematik. Bd. 1. S. 117 ff.

Stoffsäure, comprimierter Kohlenwasserstoff, Quecksilber, Wasser, weniger die fetten Oele.

Die Lehre vom Gleichgewichte tropfbar flüssiger Körper nennt man gewöhnlich *Hydrostatik*, indem man das allenthalben auf der Erde verbreitete Wasser als den Repräsentanten dieser Körper betrachtet.

Mit der leichten Beweglichkeit oder Verschiebbarkeit der Theilchen tropfbarer Flüssigkeiten steht nun auch im innigen Zusammenhange, daß diese Körper jeden Druck, der auf einen Theil ihrer Oberfläche ausgeübt wird, nach allen Seiten gleichmäßig fortpflanzen.

Man denke sich unter *ABCD* (s. beistehende Figur) den verticalen Durchschnitt eines Gefäßes, welches auf einer horizontalen Ebene ruht und bis *EF* mit Wasser gefüllt ist. Vom Gewicht des letzteren werde zunächst abgesehen. Ueber der Flüssigkeit befinde sich ein das Gefäß genau schließender Stempel, den wir uns ebenfalls als gewichtslos denken. Die Flüssigkeit für sich wird dann keinen Druck auf den Boden des Gefäßes ausüben. Belastet man aber den Stempel mit einem Gewichte *P*, so wird er auf die Oberfläche der Flüssigkeit mit einem Druck wirken, welcher sich durch alle Schichten bis zum Boden fortpflanzt. Die dem Stempel zunächst liegende Schicht hat nun den



ganzen Druck des Gewichtes *P* auszuhalten und wird auf die folgende Schicht eben so stark drücken, als sie selbst vom Stempel gedrückt wird. Auf diese Weise geht es fort bis zum Boden, welcher denselben Druck erleidet, als wenn das Gewicht unmittelbar auf ihm läge und gleichförmig auf seiner ganzen Fläche verbreitet wäre. Jeder Punkt derselben wird gleich stark im verticalen Sinne gedrückt, und der Druck auf den Boden ist der Ausdehnung seiner Fläche proportional, was auch von jedem Theile derselben gilt. Sei der Flächeninhalt des Bodens *F*, ein

Theil desselben *f*; so ist der Druck *x*, welcher auf den letzteren (*f*) fällt, gewiß $\frac{P f}{F}$, weil $P : x = F : f$.

Eben so pflanzt sich der an der Oberfläche angebrachte Druck auch auf die Seitenwände des Gefäßes fort, so daß jeder Flächentheil *f* derselben einen Druck erfährt, welcher dem zuvor bestimmten auf einen eben so großen Theil des Bodens ganz gleich ist.

Denkt man sich unter *EF* eine feste Deckplatte und darin einen kleineren beweglichen Kolben angebracht, vermittelt dessen ein Druck gleich *P* auf die Flüssigkeit ausgeübt wird, so wird ein irgendwo in der Seitenwand angebrachter Kolben von gleichem Querschnitte den Druck *P* von innen nach außen erfahren, und dieser Kolben muß mit einer gleichen Kraft im entgegengesetzten Sinne gedrückt werden, falls er nicht zurückweichen soll. Die Theile der unteren Fläche des oben angebrachten Stempels oder Kolbens werden aber wie alle übrigen Theile des Gefäßes von innen nach außen gedrückt, nach Richtungen, die auf ihnen senkrecht stehen. Wenn daher in den Stempel ein Loch gemacht wird, so tritt aus diesem das Wasser mit einer Gewalt hervor, welche jenem Drucke entspricht.

In ähnlicher Weise wirkt der Druck auf die Theilchen im Innern der Flüssigkeit.

igkeit. Man denke sich ein Quantum der Flüssigkeit, welches von ebenen Flächen begrenzt ist, oder auch ein in dieselbe getauchtes festes Polyeder; dann erfährt jeder Theil f einer der Seitenflächen (dieses Körpers) von außen nach innen einen senkrechten Druck, der gleich $\frac{Pf}{F}$ ist.

Die Gleichheit des Druckes in der vorher erörterten Weise läßt sich auch noch für Flüssigkeiten festhalten, die einen gewissen Grad von Zähigkeit haben; freilich wird hier die Fortpflanzung des Druckes nach den Seiten hin nicht mit derselben Geschwindigkeit geschehen, als nach der Richtung der Kraft, von welcher der Druck ausgeht. Doch wird nach einer gewissen Zeit der Seitendruck dem directen Drucke gleich sein; und in diesem Moment muß man das Gleichgewicht der Flüssigkeit betrachten.

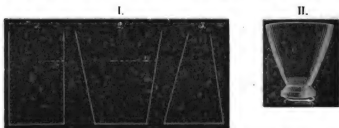
Ist die in einem Gefäße enthaltene Flüssigkeit schwer, wie es der Wirklichkeit entspricht, so pflanzt sie den Druck, der auf ihre Oberfläche ausgeübt wird, nach innen in der obigen Weise fort, so als ob sie kein Gewicht hätte; allein sie übt auch zugleich einen Druck aus, der von ihrem Gewichte herrührt und von einem Punkte zum anderen veränderlich ist, nämlich von oben nach unten allmählig zunimmt. Der Druck, welchen hierdurch ein Theilchen im Innern der Flüssigkeit erleidet, hängt von seiner Tiefe unter dem Niveau (Spiegel) der Flüssigkeit, von der sogenannten Druckhöhe ab. So hat z. B. das Theilchen h in vorstehender Figur einen Druck nach allen Seiten auszuhalten, der vom Gewicht der Säule ab herrührt. Alle Theilchen aber, welche in einer zur Oberfläche parallelen Fläche liegen, erfahren nach allen Richtungen einen gleichen Druck.

Die erste Gleichgewichtsbedingung einer schweren Flüssigkeit ist nun die, daß ihre freie Oberfläche rechtwinklig oder senkrecht zur Richtung der Schwere ist, d. h. horizontal. Denn so lange dies nicht stattfindet, wird derjenige Theil der Flüssigkeit, welcher nicht rechtwinklig zur Richtung der Schwere, sondern auf einer schiefen Ebene liegt, vermöge der Einwirkung der Schwere und wegen der leichten Verschiebbarkeit der Theilchen so lange von dieser Ebene herabgleiten müssen, bis die genannte Bedingung erfüllt ist. Hat die freie Oberfläche eine verhältnismäßig geringe Ausdehnung, so kann man die bezüglichen Richtungen der Schwere alle als unter einander parallel und die Oberfläche selbst als eine Ebene betrachten. Ueberschreitet aber die Ausdehnung der freien Oberfläche eine gewisse Grenze, so werden die sie treffenden Richtungen der Schwere, obwohl für den Fall des Gleichgewichtes senkrecht auf ihr stehend, nicht mehr alle unter einander parallel sein, und sie selbst, die Oberfläche, wird sphärisch gekrümmt sein. Wenn die Wassertheilchen außer der Schwere noch von einer anderen Kraft afficirt werden, so muß im Falle des Gleichgewichtes die Richtung der Mittelkraft (aus der Schwere und der anderen Kraft) senkrecht auf der Oberfläche der Flüssigkeit stehen.

Da alle im Innern der Flüssigkeit vorhandenen Theilchen von den über ihnen befindlichen einen Druck erfahren, welchen sie nach allen Richtungen gleichmäßig fortpflanzen, so müssen natürlicher Weise alle Druckwirkungen, welche ein Theilchen von entgegengesetzten Seiten her erleidet, einander gleich sein, wenn Gleichgewicht bestehen soll.

Ist ein Gefäß mit verticalen Wänden und horizontalem Boden mit einer Flüssigkeit gefüllt, so hat der Boden das Gewicht der letzteren zu tragen. Sei

der Flächeninhalt des Bodens F , seine Entfernung vom Spiegel h ; so ist $F \cdot h$ das Volumen der Flüssigkeit, und $F \cdot h \cdot s$ das Gewicht derselben, wenn s ihr specif. Gewicht ist. Indessen ist der Druck der Flüssigkeit auf den Boden von der Gestalt des Gefäßes unabhängig und richtet sich nur nach der Flächengröße des horizontalen Bodens, der Höhe und dem specif. Gewichte der Flüssigkeit. Hat man drei Gefäße von beistehender Form (s. Fig. 1.), so ist der Druck auf den Boden bei allen derselbe, falls sich nur in allen dieselbe Flüssigkeit zu gleicher Höhe erhebt und der Boden gleichen Flächeninhalt besitzt. Dieser Druck ist bei allen gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule, deren Grundfläche die des Gefäßes und deren Höhe die der Flüssigkeit ist. Der Bodendruck wird aber nur dann dem Gewichte



der Flüssigkeit im Gefäße gleich sein, wenn dieses ein senkrechter Cylinder oder ein gerades Prisma ist; der Druck ist geringer als dieses Gewicht, wenn das Gefäß wie in 2. vom Boden nach oben hin an Breite zunimmt, weil hier die verticalen Streifen, welche vom Spiegel ausgehen und durch die Seitenwände unterbrochen werden, auf den Boden des Gefäßes keinen Druck ausüben können. Wird das Gefäß nach oben hin enger, so werden die verticalen Wasserfäden, welche vom Boden des Gefäßes ausgehen und durch die Seitenwände unterbrochen werden, eben so stark auf den Boden des Gefäßes drücken, als wenn sie sich bis zum Spiegel des Wassers erstreckten, weil das, was jedem dieser unterbrochenen Streifen an Gewicht abgeht, durch den Widerstand der sie begrenzenden Wand ersetzt wird. Der Bodendruck wird also in diesem Falle größer als das Gewicht der Flüssigkeit sein.

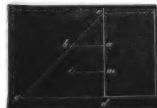
Der obige Satz, daß der Druck, welche eine Flüssigkeit auf den Boden des Gefäßes ausübt, von der Gestalt des letzteren unabhängig ist, kann auch vermittelst eines Apparates von Galbati experimental bestätigt werden. Derselbe besteht im Wesentlichen aus einer gebogenen Röhre von zwei ungleich langen Schenkeln, die mit Quecksilber gefüllt und in einem Kasten befestigt ist. An ihrem kürzeren Schenkel können Gefäße von verschiedener Gestalt aufgeschraubt werden (s. Fig. II.). Die Flüssigkeit in dem aufgeschraubten Gefäße übt dann auf das Quecksilber in der Röhre (dessen oberste Schicht gewissermaßen den Boden des Gefäßes darstellt) einen Druck aus, in Folge dessen das Quecksilber im längeren Schenkel steigt, so daß die Größe des Druckes durch den Stand des Quecksilbers in diesem Schenkel angezeigt wird. Benutzt man hinter einander Gefäße von verschiedener Form, deren untere mit der Röhre in Verbindung gesetzte Oeffnung jedoch denselben Querschnitt darbietet, so läßt sich der obige Satz leicht bestätigen. Man kann aber auch den betreffenden Druck mittelst einer Wage bestimmen. In diesem Falle

besteht der Boden der zu benutzenden Gefäße aus einem conischen Ventil, das sich von unten nach oben öffnet und genau in eine Metallplatte eingeschliffen ist. Man denke sich nun einen horizontalen zweiarmligen Hebel, dessen Stütz- und Drehpunkt sich auf einer verticalen Säule befindet. Der eine Arm dieses Hebels trägt eine Wagchale zur Aufnahme von Gewichten; an dem Ende des anderen Armes ist aber in einer verticalen Hülse ein Stift angebracht, der von unten nach oben gegen das conische Ventil des Gefäßes drückt, wenn dieser Arm durch das Gewicht in der Schale des vorerwähnten Armes gehoben wird. Das Gewicht, welches nöthig ist, um das conische Ventil auf diese Weise zu öffnen, hängt natürlich von dem Drucke der Flüssigkeit im Gefäße ab. Das Gewicht erweist sich aber immer von gleicher Größe, wenn man nach einander verschiedene gestaltete Gefäße von gleicher Bodenfläche nimmt, in denen sich das Wasser zu gleicher Höhe erhebt.

Betrachtet man eine zum Wasserspiegel EF (Figur S. 86) parallele Schicht mn , so hat diese das Gewicht der Flüssigkeitssäule $E F m n$ zu tragen. Der Druck aber, welchen hierdurch die Theilchen dieser Schicht auszubalten haben, pflanzt sich auch nach allen Seiten rechtwinklig gegen die Gefäßwände fort, so daß z. B. der Punkt m der Wand demselben Druck ausgesetzt ist, als jeder Punkt der horizontalen Schicht mn . Bezeichnet man daher den Flächeninhalt eines Elements der Gefäßwand durch β , seine Tiefe unter dem Spiegel durch h , das specif. Gewicht der Flüssigkeit aber durch s , so ist der Druck auf dieses Element gleich $\beta h s$.

Ueberhaupt ist der winkelrechte Druck des Wassers auf eine ebene, senkrechte oder geneigte, Gefäßwand gleich „dem Gewicht einer Wassersäule, welche die Wand zur Grundfläche und den Abstand ihres Schwerpunktes vom Spiegel zur Höhe hat.“ Bezeichnet β wieder ein Element der Wand, s das specif. Gewicht der Flüssigkeit und z den Abstand des Elements vom Niveau, so ist der Druck auf dieses Element gleich $\beta z s$. Da nun die auf sämtliche Elemente der Wand senkrecht ausgeübten Druckwirkungen unter einander parallel sind, so ist die Mittelkraft aller dieser Wirkungen oder der Druck auf die ganze Seitenwand gleich dem Producte aus s in das auf die ganze Wand ausgebreitete Integral von βz . Ist nun F der Flächeninhalt der ganzen Seitenwand und h die Tiefe ihres Schwerpunktes unter dem Niveau, so ist das Integral von βz gleich $F h$, also der Druck auf die Wand gleich $F h s$.

Den Punkt, in welchem die Mittelkraft aller parallelen Druckkräfte die Wand trifft, nennt man den Mittelpunkt des Druckes, der bei einer verticalen und geneigten Wand immer tiefer als der Schwerpunkt derselben liegt, da der Druck auf ihre einzelnen Elemente mit ihrer Tiefe unter dem Niveau der Flüssigkeit zunimmt. Der Druck, welchen ein Punkt der Seitenwand $e d$ (s. nebenstehende Figur) erleidet, läßt sich durch eine gerade horizontale Linie ab darstellen, falls $ab = a c$ ist; eben so der Druck auf den tiefsten Punkt d durch die Linie $d e$, sofern letztere gleich $d c$ ist. Auf diese Weise werden die Drucklinien für alle Punkte der verticalen Linie $d c$ durch die Linie $e c$ begrenzt;



und der Gesamtdruck auf die Linie $d c$ wird durch das Dreieck $d e c$ vorgestellt

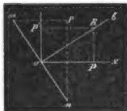
Die Mittelkraft aller dieser einzelnen Druckkräfte trifft die Linie $d e$ in einem ihrer Punkte, der aber, weil der Druck nach unten hin wächst, nicht mit dem Schwerpunkte dieser Linie zusammenfallen kann; vielmehr wird dieser Punkt, der Mittelpunkt des Druckes, da liegen, wo die durch den Schwerpunkt i des Dreiecks gezogene Horizontale die Linie $d e$ trifft, nämlich in m . Hiernach beträgt die Entfernung dieses Mittelpunktes vom Boden des Gefäßes den dritten Theil der Höhe, bis zu welcher sich die Flüssigkeit im Gefäße erhebt.

Betrachtet man anstatt der Linie $d e$ einen verticalen Streifen der Gefäßwand oder auch diese letztere selbst, welche ein Rechteck sei, so liegt der Mittelpunkt des Druckes in der verticalen Mittellinie, welche die horizontale Grundlinie halbt, und zwar in der vorher angegebenen Höhe vom Boden des Gefäßes oder um $\frac{1}{2}$ jener Linie vom Niveau.

Denkt man sich im Mittelpunkte des Druckes eine Kraft angebracht, welche der Mittelkraft aller einzeln auf die Gefäßwand ausgeübten Druckkräfte gleich, aber der Richtung nach entgegengesetzt ist, so wird sie natürlicher Weise dem ganzen Wasserdrucke das Gleichgewicht halten.

Bei einem Gefäße mit horizontaler Grundfläche erleiden alle Punkte derselben einen gleichen verticalen Druck, so daß die Mittelkraft aller dieser parallelen Druckkräfte durch den Schwerpunkt der Grundfläche geht. Ist aber die Grundfläche eines Gefäßes ein geneigter ebener Boden, so müssen ihre unteren Elemente einen stärkeren Druck erleiden als ihre oberen, weshalb denn auch der Mittelpunkt des Druckes stets tiefer als der Schwerpunkt dieser Grundfläche liegt.

Es hat nun keine Schwierigkeit, den Druck zu ermitteln, den eine Flüssigkeit nach einer gewissen Richtung auf eine Fläche ausübt. Die Linie $m n$ bezeichne



die Mittellinie einer ebenen Fläche und $a b$ (s. nebenstehende Figur) die Richtung des auf ihr senkrechten Wasserdruckes. Man zerlege diesen Druck $= R$ in zwei Seitenkräfte, von denen die eine P die verlangte Richtung $a x$ hat, während die andere P' auf dieser Richtung senkrecht ist. Bezeichnet man nun den Winkel $R a x$ mit φ , so hat man $P = R \cos \varphi$ und $P' = R \sin \varphi$. Denkt man sich ferner die Linie $m n$ oder vielmehr die Fläche, welcher sie zugehört, auf eine Ebene projicirt, die senkrecht auf der Richtung $a x$ steht, so ist der Flächeninhalt F' dieser verticalen Projection, wenn man den Inhalt der gegebenen Fläche durch F bezeichnet, gleich $F \cos m n p$ oder da

$\angle m n p = \varphi$ ist, $F' = F \cos \varphi$, woraus $\cos \varphi = \frac{F'}{F}$ und $P = R \frac{F'}{F}$ folgt.

Man hat auch, da $R = F h s$ ist, $P = F' h s$. „Der Druck, welchen das Wasser nach irgend einer Richtung auf eine Fläche ausübt, ist also gleich dem Gewichte einer Wassersäule, welche die Projection der Fläche, senkrecht auf die verlangte Richtung, zur Grundfläche und die Tiefe des Schwerpunktes der Fläche unter dem Niveau zur Höhe hat.“

Man kann nun auch den Druck, welchen das Wasser senkrecht auf eine geneigte Gefäßwand ausübt, in zwei Seitenkräfte zerlegen, von denen die eine horizontal oder wagerecht, die andere vertical oder senkrecht (auf die Horizontale) ge-

richtet ist. Der horizontale Druck des Wassers gegen die Wand ist immer gleich dem Gewichte einer Wassersäule, welche die verticale Projection der Wand zur Grundfläche und den Abstand des Schwerpunktes der Projection vom Niveau zur Höhe hat. Und dies ist auch noch richtig für eine gekrümmte Gefäßwand. Man denke sich ein kugelförmiges Gefäß durch einen verticalen Schnitt in zwei Theile getheilt; dann liegen auf diesem Schnitte die verticalen Projectionen der beiden krummen Wandtheile. Es ist aber leicht zu erkennen, daß der horizontale Druck auf irgend ein Element der Gefäßwand stets durch einen gleich großen, aber entgegengesetzt gerichteten Druck auf die gegenüberstehende Seitenwand aufgehoben wird.

Der verticale Druck des Wassers gegen ein Element der krummen Gefäßwand ist gleich dem Gewichte einer Wassersäule, deren Grundfläche oder Querschnitt die horizontale Projection des Elements und deren Höhe der Abstand des letzteren vom Niveau ist. Betrachtet man nun ein Element oder einen Theil der krummen Wand, welcher gerade senkrecht über einem unteren Theil liegt, so erleidet derselbe einen verticalen Druck im entgegengesetzten Sinne, und aus der Differenz beider Druckkräfte ergibt sich ein verticaler Druck nach unten, der gleich ist dem Gewichte der zwischen beiden Theilen (dem untern und obern) enthaltenen Wassersäule, so daß man hiernach auch behaupten kann, der ganze Verticaldruck gegen die Gefäßwand sei gleich dem Gewichte der im Gefäße enthaltenen Wassermenge.

In nebenstehendem Gefäße befinde sich eine Flüssigkeit, die sich zur Höhe $A'B'$ erstreckt, im Gleichgewichte. Man gieße auf diese Flüssigkeit eine andere



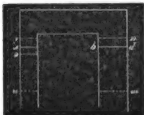
vom specif. Gewichte s'' und der Höhe h' . Dann werden beide Flüssigkeiten im Gleichgewichte sein, wenn die Flächen $A'B'$ und $A''B''$ horizontal sind. Ist der Flächeninhalt von $A'B'$ gleich b' , so übt die zweite Flüssigkeit auf diese Fläche einen Druck aus, der gleich $b'h's'$ ist. Da sich nun dieser Druck durch die untere Flüssigkeit bis zum Boden AB fortpflanzt,

so ist der wirkliche Druck der zweiten Flüssigkeit auf den Boden, dessen Flächeninhalt durch b bezeichnet sei, gleich $b'h's'$. Nennt man nun noch die Höhe der ersten Flüssigkeit h und ihr specif. Gewicht s , so hat man für den Gesamtdruck, den diese beiden Flüssigkeiten auf den Boden ausüben, $bhs + b'h's' = b(hs + h's')$. Gießt man über die zweite noch eine dritte Flüssigkeit von der Höhe h'' und dem specif. Gewicht s'' , so bleibt das Gleichgewicht ungestört, falls die Oberfläche $A''B''$ horizontal ist. Der von dieser Flüssigkeit herrührende Druck pflanzt sich durch die zweite Flüssigkeit fort und wird gleich $b'h''s''$ auf $A'B'$ und vermittelt der untersten Flüssigkeit gleich $b'h''s''$ auf dem Boden des Gefäßes. Der Gesamtdruck dieser drei Flüssigkeiten auf den Boden ist also gleich $b(hs + h's' + h''s'')$.

Und so wird überhaupt der Druck, den beliebig viele Flüssigkeiten, die in einem Gefäße übereinander gelagert und im Gleichgewichte sind, zusammen auf den horizontalen Boden dieses Gefäßes ausüben, nur von dem Flächeninhalte desselben, von den Höhen dieser verschiedenen Flüssigkeiten und von ihren specif. Gewichten abhängen. Doch wird dieser Druck nur dann der Summe der Gewichte aller dieser Flüssigkeiten gleich sein, wenn dieses Gefäß ein senkrechter Cylinders oder ein gerades Prisma ist. Das Gleichgewicht ist ein dauerndes, wenn

die dichteren Flüssigkeiten den unteren Raum des Gefäßes einnehmen, damit nämlich der Schwerpunkt der ganzen Masse so tief als möglich liege. Uebrigens gilt das Vorstehende auch dann noch, wenn die Schichten der verschiedenen Flüssigkeiten unendlich dünn sind, oder wenn sich die Dichte der flüssigen Masse stetig im verticalen Sinne ändert.

Nehmen wir nun an, eine gleichartige Flüssigkeit befinde sich in verschiedenen Gefäßen, die mit einander in Gemeinschaft stehen, nämlich in sogenannten communicirenden Gefäßen. Der Spiegel der Flüssigkeiten muß dann in beiden Gefäßen gleiche Höhe haben, wenn Gleichgewicht stattfinden soll. Um dies einzusehen, denke man sich in dem einen Gefäße eine feste horizontale Scheidewand pq (s. nebenstehende Figur). Der Druck, welchen diese Wand von unten her erleidet, ist nach dem Gesetze der gleichmäßigen Fortpflanzung des Druckes nach allen Richtungen proportional Bh , wenn B den Flächeninhalt derselben und h die Höhe ra bezeichnet. Ist nun $pm = h'$ die Höhe der Flüssigkeit im weiteren Gefäße, so ist der Druck auf die Scheidewand von oben nach unten gleich Bh' . Denkt man sich jetzt an der Stelle der festen Scheidewand eine Flüssigkeitsschicht, so



hat diese von entgegengesetzten Seiten her dieselben Pressungen wie die Wand auszuhalten. Gleichgewicht kann aber nur dann bestehen, falls $Bh = Bh'$, also $h = h'$, und daher der Spiegel der Flüssigkeit in beiden Gefäßen gleich hoch ist.

Der untere Theil der obigen Gefäße sei mit Quecksilber gefüllt, dessen Oberflächen p und r für den Fall des Gleichgewichtes in einer und derselben Horizontalen liegen. Gießt man nun in den einen Schenkel des Gefäßes auf das Quecksilber irgend eine andere Flüssigkeit von geringerem specif. Gewicht, z. B. Wasser, so wird das Quecksilber vermöge des Wasserdruckes auf die Fläche p in diesem Schenkel sinken, etwa bis a , in dem anderen aber steigen, z. B. e . Wenn nun die Quecksilberflächen a und i in derselben Horizontalebene liegen, und der Flächeninhalt des Röhrenquerschnitts bei a durch b , die Höhe der Wassersäule durch h , die der Quecksilbersäule ie aber durch h' bezeichnet wird, so ist der Druck der Wassersäule von oben nach unten auf a gleich bhs , wo s das specif. Gewicht des Wassers ist, und der Druck der Quecksilbersäule von unten nach oben auf dieselbe Ebene gleich $bh's'$, falls s' das specif. Gewicht des Quecksilbers. Soll nun Gleichgewicht bestehen, so muß $bhs = bh's'$, d. h. $h:h' = s':s$ sein. Wenn also zwei ungleichartige Flüssigkeiten in communicirenden Gefäßen oder Röhren im Gleichgewichte sind, so verhalten sich die Höhen der Flüssigkeitssäulen, welche über den durch dieselbe Horizontalebene gemachten Durchschnitten dieser Gefäße stehen, umgekehrt wie die specifischen Gewichte beider Flüssigkeiten.

Untersuchen wir jetzt die Gleichgewichtsverhältnisse fester Körper, welche in eine Flüssigkeit eingetaucht sind. Wir haben schon erwähnt, daß ein in einer Flüssigkeit befindlicher fremder Körper von allen Seiten einen Druck erfährt, eben so wie die Flüssigkeit, deren Platz er einnimmt. Es sei ein gerades Prisma in

eine Flüssigkeit eingetaucht (s. beistehende Figur). Alle horizontalen Pressungen, welche die Flüssigkeit auf die Seitenflächen dieses Prisma ausübt, heben sich gegenseitig auf, weil sie einander gleich sind und nach entgegengesetzten Richtungen wirken. Außerdem erleidet das Prisma von oben nach unten einen Druck, der gleich ist dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule, welche die obere Grundfläche $= b$ des Prisma zur Basis und die senkrechte Entfernung h' dieser letzteren vom Spiegel zur Höhe hat. Dieser Druck ist also gleich $b h' s$, wo s das specif. Gewicht der Flüssigkeit bezeichnet. Ein anderer diesem entgegenwirkender Druck findet von unten nach oben auf das Prisma statt. Derselbe



ist gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule, welche eine gleich große Basis wie die eben zuvor betrachtete Flüssigkeitssäule hat und deren Höhe gleich h'' ist. Denn nach dem, was uns schon bekannt ist, hängt der allseitige Druck in einer horizontalen Flüssigkeitsschicht, die hier auch durch die untere Grundfläche des Prisma geht, von ihrer Tiefe unter dem Niveau ab. Daher wird der nach oben wirkende Druck gleich $b h'' s$ sein. Und der Unterschied dieser beiden entgegengesetzten Pressungen $= b h'' s - b h' s = b s (h'' - h') = b h s$. Da nun $h'' - h' = h$ die Höhe des Prisma ist, so wird der Druck auf die obere Fläche des Prisma von dem Druck auf die untere um das Gewicht einer Flüssigkeitssäule übertroffen, die mit dem Prisma gleichen Rauminhalt hat. Daher wird denn auch, in Folge dieses Ueberschusses des aufwärts gerichteten Druckes, von der Flüssigkeit ein Theil von dem Gewichte des Körpers getragen, und dieser Theil ist gleich dem Gewichte der vom Körper verdrängten Flüssigkeit. Der Ueberschuß des vertical nach oben wirkenden Druckes wirkt der Schwere gerade entgegen und vermindert daher auch das Gewicht um so viel, als das Gewicht der vom Körper aus ihrer Stelle verdrängten Flüssigkeit beträgt. Diese Betrachtung läßt sich leicht auf einen Körper von beliebiger Gestalt ausdehnen. Da man sich übrigens jeden Körper in verticale prismatische Elemente zerlegt denken kann, von denen jedes so viel an Gewicht verliert, als das Gewicht eines gleichen Volumens Flüssigkeit beträgt, so wird auch der Gesamtverlust des ganzen aus solchen Elementen zusammengesetzten Körpers gleich sein dem Gewichte einer flüssigen Masse, deren Volumen dem Volumen aller dieser Prismen, d. h. dem Volumen des ganzen Körpers gleich ist.

Das eben entwickelte Gesetz, nach welchem also ein in eine Flüssigkeit eingetauchter Körper so viel von seinem Gewichte verliert, als das Gewicht der von demselben verdrängten Flüssigkeit beträgt, wurde zuerst von Archimedes aufgestellt, weshalb man es wohl auch das „Archimedische Princip“ nennt.

Die Richtigkeit dieses Gesetzes läßt sich auch experimental mit Hülfe der hydrostatischen Wage (s. Art. Gewicht, Bd. III. S. 548) bestätigen, wozu man eine gewöhnliche chemische Wage verwenden kann. Einen hohlen kupfernen Cylinders, dessen innere Höhlung durch einen massiven Cylinder genau ausgefüllt werden kann, legt man nebst dem letzteren in eine Schale der Wage und bringt so viele Gewichte auf die andere Wagschale, bis das Gleichgewicht hergestellt ist. Hierauf bringt man die Wage in Ruhe und befestigt den massiven Cylinder mit einem sehr dünnen Drahte unterhalb der Wagschale an diese, um ihn in eine Flüssigkeit, z. B. Wasser, einzusenken. Das Gleichgewicht an der Wage findet

sich dann aufgehoben, ist aber sogleich wieder hergestellt, wenn man den hohlen Cylinder genau mit Wasser füllt; woraus folgt, daß der massive Cylinder durch die Einsenkung in das Wasser so viel an Gewicht verloren hat, als das in den hohlen Cylinder gegossene Wasser wiegt, d. h. als die Quantität Wasser wiegt, die von jenem aus ihrer Stelle getrieben worden. Gewöhnlich befestigt man bei diesem Versuche auch den hohlen Cylinder vermittelst eines kurzen Drahtes an einem Hälchen, das sich am unteren Theil der einen Wagschale befindet. Der massive Cylinder läßt sich dann durch einen Draht an einem Hälchen befestigen, das am Boden des hohlen Cylinders angebracht ist.

Das Archimedische Princip pflegt man auch noch auf folgende Weise zu erläutern. Man denke sich im Innern einer flüssigen Masse einen Theil der letzteren unter irgend einem Volumen, so wird dieser Theil in Ruhe verharren, da das Gewicht desselben und der Druck, welchen er durch die Flüssigkeit von oben her erfährt, zusammen dem Druck der Flüssigkeit von unten das Gleichgewicht halten. Denkt man sich jetzt an die Stelle des gedachten Theiles einen gleich großen festen Körper von demselben Gewicht wie jener, so ist nichts verändert; der Körper wird in der Flüssigkeit schweben, ohne zu steigen oder zu sinken. Nimmt man aber irgend einen anderen Körper, der mit dem gedachten Theile der Flüssigkeit gleiche Form und dasselbe Volumen, jedoch eine andere Dichte hat, so wird dieser Körper denselben Druckkräften wie der vorige Körper (oder der zuerst angenommene gleich große flüssige Theil) unterworfen sein; der Druck der Flüssigkeit von oben wird immer noch um das Gewicht des gedachten flüssigen Theils kleiner sein als der Druck der Flüssigkeit von unten. Daher wird denn auch dieser Körper in der Flüssigkeit so viel von seinem Gewichte verlieren, als das Gewicht jenes flüssigen Theiles, der mit demselben gleiches Volumen hat, beträgt.

Halten wir nun fest, daß auf einen in eine Flüssigkeit getauchten Körper zwei Kräfte im entgegengesetzten Sinne wirken, nämlich vertical abwärts die Schwere oder das Gewicht des Körpers, das man sich in seinem Schwerpunkte vereinigt denken kann, sodann der Druck der Flüssigkeit vertical von unten nach oben, dessen Angriffspunkt der Schwerpunkt der aus ihrer Stelle verdrängten Flüssigkeit ist.

Den vertical aufwärts wirkenden Druck der Flüssigkeit nennt man gewöhnlich den **Auftrieb**.

Taucht man irgend einen festen Körper in eine Flüssigkeit unter, so kann man drei Fälle unterscheiden; sein specif. Gewicht ist nämlich größer, gleich oder kleiner als das der Flüssigkeit. Hat der Körper im leeren Raume das Gewicht P , während das der Flüssigkeit bei gleichem Volumen gleich p ist, so ist sein Gewicht in der Flüssigkeit $P - p$. Ist nun P größer als p , so sinkt der Körper mit stets abnehmender Beschleunigung in der Flüssigkeit nieder (s. Art. Mechanik der Flüssigkeiten, Bd. IV. S. 965 ff.), ist $P = p$, so schwebt er in ihr wie eine gewichtslose Masse; ist aber P kleiner als p , so steigt er so lange in die Höhe, bis das Gewicht der Flüssigkeit, welche sein eingetauchter Theil verdrängt, seinem ganzen Gewichte gleich ist.

Wir können nun die Bedingungen des Gleichgewichtes untergetauchter und an der Oberfläche der Flüssigkeit befindlicher, d. h. schwimmender Körper bestimmen.

Wenn der in einer Flüssigkeit, z. B. im Wasser, untergetauchte Körper

durchaus gleichartig ist, so bleibt er in derselben schweben, falls sein ganzes Gewicht dem Gewichte der aus der Stelle vertriebenen Flüssigkeit gleich ist. Der Schwerpunkt eines solchen Körpers fällt mit dem Schwerpunkte der verdrängten Wassermasse zusammen, so daß denn auch das Gleichgewicht in allen Lagen stattfinden kann. Dies findet nicht mehr statt, wenn der untergetauchte Körper ungleichartig ist und daher auch sein Schwerpunkt nicht mehr mit dem Schwerpunkte der vertriebenen Wassermasse zusammenfällt, obschon er auch dann noch im Wasser schweben kann, sobald sein ganzes Gewicht dem Gewichte der aus der Stelle vertriebenen Flüssigkeit gleich ist. Die Bedingung des Gleichgewichtes besteht aber hier darin, daß sein Schwerpunkt und der Schwerpunkt der verdrängten Wassermasse in einer und derselben Verticalen liegen. Soll das Gleichgewicht ein dauerndes sein, so muß überdies noch der Schwerpunkt des Körpers die tiefste Lage haben. Ein solcher Körper ist nämlich den obigen zwei Kräften unterworfen, vertical abwärts der Schwere, deren Angriffspunkt der Schwerpunkt des Körpers ist, und aufwärts dem Drucke der vertriebenen Flüssigkeitsmasse, dessen Angriffspunkt der Schwerpunkt dieser Masse ist. Liegt nun der Schwerpunkt des Körpers in derselben Verticallinie über dem der verdrängten Flüssigkeit, so wird Gleichgewicht stattfinden, jedoch nur so lange als der Körper nicht aus dieser Lage verrückt wird. Geschieht eine Verrückung, so muß sich der Körper in Folge der Einwirkung der Schwere so lange drehen, bis sein Schwerpunkt vertical unter dem der verdrängten Flüssigkeitsmasse liegt. Der Körper geht hierbei aus der labilen in die stabile Gleichgewichtslage über.

Das Gleichgewicht der Fische im Wasser ist ein dauerndes (stabiles), weil ihre Schwimmblase eine solche Lage in ihrem Körper hat, daß der obere Theil desselben leichter wird und der Schwerpunkt des ganzen in den unteren Theil zu liegen kommt. Auch dient die Schwimmblase den Fischen noch, um sich im Wasser zu heben und zu senken, indem diese Blase durch den Druck der umgebenden Muskeln mehr oder weniger zusammengedrückt werden kann, wodurch ihr Volumen mehr oder weniger verkleinert, die darin enthaltene Luft also auch mehr oder weniger dicht wird. — Hiermit in nächster Beziehung steht auch das Experiment mit den sogenannten Cartesianschen Teufelchen oder Tauchern. Diese sind nämlich kleine hohle Figuren von dünnem Glase, welche gewöhnlich an einem Schwanze, mit dem sie versehen sind, eine kleine Oeffnung haben, die in den hohlen Körper reicht. Man bringt diese Figürchen in ein längliches Cylinderglas, das mit Wasser angefüllt und mit Blase überbunden ist. Drückt man nun mit dem Finger abwechselnd auf die Blase und läßt wieder nach, so sinken und steigen demgemäß die Figuren im Glase, weil die Luft in ihrem Leibe vom Wasser abgeschlossen und bald mehr, bald weniger gepreßt wird.

Es ist bereits bemerkt, daß sich ein Körper in einer Flüssigkeit, deren specif. Gewicht größer als sein eigenes ist, nur theilweise einsenken kann. Taucht man ihn ganz unter, so wird er mit dem Ueberschusse seines Auftriebes so lange steigen, bis das Gewicht der Flüssigkeit, welche sein eingetauchter Theil aus ihrer Stelle verdrängt, seinem ganzen Gewichte gleich ist. Ist nun V das Volumen des Körpers, p sein absolutes, s sein specif. Gewicht, v das Volumen des eingetauchten Theiles des Körpers, s' das specif. Gewicht der Flüssigkeit, welches größer sein soll als das des Körpers, so hat man $p = Vs$ und auch $p = vs'$, daher $Vs = vs'$ oder $v : V = s : s'$, d. h. das Volumen des eingetauchten Theiles verhält sich zum

Volumen des ganzen Körpers wie das specifische Gewicht des letzteren zu dem der Flüssigkeit.

Wird aber ein und derselbe Körper nach einander in zwei verschiedene Flüssigkeiten, deren specif. Gewicht s und s' sind, gebracht, so hat man, wenn man den eingetauchten Theil des Körpers in der einen Flüssigkeit durch v , in der anderen durch v' bezeichnet, $p = vs$ und $p = v's'$, also $vs = v's'$ oder $v : v' = s' : s$, d. h. die in verschiedene Flüssigkeiten eingetauchten Theile eines und desselben Körpers verhalten sich umgekehrt wie die specif. Gewichte dieser Flüssigkeiten, so daß also der Körper in einer leichteren Flüssigkeit tiefer als in einer specifisch schwereren einsinken wird.

Der oben entwickelte Satz vom Gewichtsverluste der Körper in Flüssigkeiten und die beiden so eben ausgesprochenen Sätze können zu Bestimmung des specif. Gewichtes benutzt werden *).

Ist P das Gewicht eines schwimmenden Körpers, v das Volumen der Flüssigkeit, welches sein eingetauchter Theil verdrängt, so hat man also $P = vs$ und hieraus $v = \frac{P}{s}$. Diese Formel kann zur Berechnung der Tiefe dienen, bis zu

welcher ein Körper von geschnäpiger Gestalt in die Flüssigkeit eintaucht. Nehmen wir als einfaches Beispiel einen geraden Cylinder oder ein senkrechtcs Prisma, dessen Querschnitt $= F$ bekannt ist. Die Tiefe des Eintauchens sei $= x$; dann ist $v = Fx$, also $Fx = \frac{P}{s}$, und $x = \frac{P}{Fs}$.

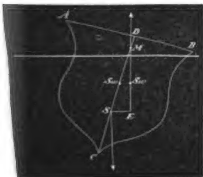
Denkt man sich durch den Schwerpunkt eines schwimmenden Körpers und durch den Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeit eine Linie gezogen, so ist diese Linie die sogenannte *Schwimmaxe*, während man den durch das Niveau oder den Spiegel der Flüssigkeit im Innern des schwimmenden Körpers gebildeten Schnitt die *Schwimmbene* nennt.

Ein schwimmender Körper ist wie ein untergetauchter im Gleichgewichte, wenn sein Schwerpunkt und der Mittelpunkt des aufwärts gehenden Druckes (oder der Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeit) in einer Verticalen liegen; es ist jedoch bei einem schwimmenden Körper zur Herstellung eines stabilen Gleichgewichtes nicht nothwendig, daß sein Schwerpunkt unterhalb der verdrängten Flüssigkeitsmasse liege. Ein Körper schwimmt aber mit Stabilität, wenn er nach jeder Verrückung aus der Gleichgewichtslage wieder in diese letztere zurückkehrt. Die hierbei in Betracht kommenden Verhältnisse sind in der Hauptsache schon im Art. *Schiff* hervorgehoben worden.

Man denke sich in umstehender Figur unter ACB den Querschnitt eines schwimmenden Körpers, eines Schiffes, unter CD eine sogenannte Symmetrieebene, welche das Schiff in zwei symmetrische Hälften theilt, in S den Schwerpunkt des Schiffes und in s den des verdrängten Wassers. Wird nun das Schiff in Folge einer äußeren Ursache aus der aufrechten Stellung in die geneigte gebracht, welche die Figur anzeigt, so wird es auf der einen Seite um so viel aus dem Wasser hervortreten, als es auf der anderen tiefer in dasselbe eintaucht. Das Gesamt-

*) Art. *Aräometer*, Bd. I. S. 278 ff. und *Gewicht*, Bd. III. S. 347 ff.

olumen des durch das Schiff verdrängten Wassers wird jedoch bei dieser Veränderung dasselbe bleiben, und sein Gewicht stets gleich sein dem ganzen Gewicht



des Schiffes, wie in der Gleichgewichtslage. Dagegen wird der Schwerpunkt des verdrängten Wassers jetzt nicht mehr in S w, welcher Punkt der Symmetrieebene angehört, liegen, sondern in der tiefer eingetauchten Hälfte des Schiffes, etwa im Punkte S w,. Man denke sich durch diesen Punkt eine Verticale gezogen, welche die Symmetrieebene in einem Punkte M schneiden wird. Nun wirkt das Gewicht des Schiffes in seinem Schwerpunkte S vertical abwärts, während der Druck des verdrängten Wassers vertical aufwärts gegen den Punkt M hin wirkt.

Liegt der Schwerpunkt des Schiffes unter dem Punkte M, so ist es sicher, daß die eben bezeichneten Kräfte zusammen das Schiff in seine anfängliche Gleichgewichtslage, in seine aufrechte Stellung, zurückdrehen werden. Wenn aber der Schwerpunkt S über M liegen sollte, so würde der nach oben gegen M wirkende Wasserdruck und das Gewicht des Schiffes dieses letztere noch mehr aus der ursprünglichen Gleichgewichtslage entfernen, weil nun beide Kräfte zu einer Drehung in demselben Sinne wirken; das Schiff würde seine Stabilität völlig verlieren und ganz umschlagen, um die obige Bedingung eines stabilen Gleichgewichtes zu erfüllen. Den Punkt M nennt man das Metacentrum, um welches ein aus seiner Gleichgewichtslage gebrachter schwimmender Körper, wie ein Pendel um seine Axe, oscillirt, so daß er nach einer Reihe von Oscillationen in die Gleichgewichtslage zurückkehrt. Die Bedingung des stabilen Gleichgewichtes eines schwimmenden Körpers besteht also darin, daß sein Schwerpunkt unter dem Metacentrum liegt. Fiele S mit M zusammen, so würde das Gleichgewicht des schwimmenden Körpers in allen Lagen, also auch ein Schwimmen ohne Stabilität stattfinden.

Das Maß der Stabilität eines schwimmenden Körpers, z. B. eines Schiffes, ist das Moment der vertical abwärts wirkenden Kraft der Schwere. Bezeichnet man das Gesamtgewicht des Schiffes durch G und zieht man durch den Schwerpunkt S (s. beisteh. Figur) eine Linie senkrecht auf die durch das Metacentrum und den Schwerpunkt der verdrängten Wassermasse gehende Verticale ME, so hat man für das eben erwähnte Moment $G \cdot SE$ oder $G \cdot SM \sin SME$. Setzt man SM, die Entfernung des Schwerpunktes S des Schiffes vom Metacentrum M gleich e und den Winkel SME gleich α , so erscheint $G \cdot e \sin \alpha$. Die Stabilität eines schwimmenden Körpers ist hiernach um so größer, je größer e, d. h. je tiefer der Schwerpunkt des Körpers unter dem Metacentrum liegt, dann je größer G, d. h. das Gewicht des Körpers, und drittens je größer α , d. h. die Abweichung von der Gleichgewichtslage ist. — Natürlich bezeichnet die Stabilität hier zugleich den Widerstand, welchen der schwimmende Körper einer Verrückung aus seiner Gleichgewichtslage entgegensetzt.

Körper, die specifisch schwerer als irgend eine Flüssigkeit, z. B. Wasser sind,

können in derselben doch zum Schwimmen gebracht werden, wenn man sie mit anderen Körpern verbindet, die specifisch leichter sind, als die gegebene Flüssigkeit, oder auch dadurch, daß man sie aushöhlt. Um das Gewicht zu bestimmen, welches ein specifisch leichterer Körper haben muß, um vermittelst desselben einen specifisch schwereren zum Schwimmen zu bringen, sei p das absolute Gewicht des letzteren Körpers, s sein specifisches Gewicht, und die entsprechenden Größen für den ersteren seien p' und s' . Das Schwimmen oder zunächst das Schweben in der Flüssigkeit wird nun stattfinden, wenn das Gesamtgewicht der verbundenen Körper gleich ist dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeit. Bezeichnet man das specif. Gewicht der letzteren durch σ , so hat man also $\left(\frac{p}{s} + \frac{p'}{s'}\right) \sigma = p + p'$, und daher

$$p' = \frac{p s' (s - s')}{s (\sigma - s)}.$$

In Rücksicht des zweiten Falles erinnern wir an die kupfernen Röhre (Bontons). Es sei allgemein das absolute Gewicht des festen Körpers (Metalles) gleich P und der Raum, in dem er ausgedehnt werden muß, um schwimmen zu können, sei gleich V in Cubikfuß. Das Gewicht des Körpers verhalte sich zu dem Gewichte eines gleichen Volumens Wasser wie $m : 1$, und das Gewicht von 1 Cubikf. Wasser sei gleich γ . Dann beträgt das Gewicht Wasser, welches den Raum V einnimmt, γV . Daher $m : 1 = P : \gamma V$, und $V = \frac{P}{m \gamma}$.

Sollte z. B. eine schwimmende Schale aus Metall in Gestalt einer Halbkugel verfertigt werden, welche P Pfund wiegt, so sei der Halbmesser der Kugel gleich r ; dann ist $V = \frac{2}{3} \pi r^3$ und hieraus $r = \sqrt[3]{\frac{3 V}{2 \pi}}$. Bezeichnet r_1 den Halbmesser der inneren Höhlung der Schale, so ist $r - r_1$ die Dicke der Schale, und ihr körperlicher Inhalt $\frac{2}{3} \pi (r^3 - r_1^3)$. Wiegt nun 1 Cubikfuß des betreffenden Metalles G , so wird auch der körperliche Inhalt der Schale gleich $\frac{P}{G} = P' = \frac{2}{3} \pi (r^3 - r_1^3)$ sein. Demnach $r^3 - r_1^3 = \frac{3 \cdot P'}{2 \pi}$ und $r_1 = \sqrt[3]{r^3 - \frac{3 \cdot P'}{2 \pi}}$.

Da man nun r und r' kennt, so ergiebt sich auch leicht deren Differenz $r - r_1$, nämlich die Dicke der metallenen Schale.

Auf dem Umstande, daß jeder Körper schwimmt, dessen Gewicht kleiner ist als das eines gleichen Volumens Wasser, beruht die Anwendung von Schwimgürteln, Schwiminkleidern, Blasen mit Luft gefüllt u., welche der Mensch sich umzubinden pflegt, um zu schwimmen, und die alle nichts weiter sind als Körper, specifisch leichter als Wasser, mit denen der Mensch sein Volumen vergrößert, ohne sein Gewicht im gleichen Verhältnisse zu vermehren, so daß das Gewicht des aus seiner Stelle verdrängten Wassers gleich oder vielmehr noch etwas geringer ist als das Gesamtgewicht des Menschen und der an ihm befestigten leichteren Körper. Belt in Kopenhagen verfertigte sich einen wurstförmigen Ring von Segeltuch mit Korkschnitzeln gefüllt, legte ihn um die Hüften und ruhte auf einem sattelförmigen Sige, welcher an zwei Seiten des Ringes befestigt war. Dabei bediente er sich

zweier Ruder und Schwamm mit dieser Vorrichtung, wie erzählt wird, über den Sund. — Sinkende Schiffe kann man zuweilen durch leere Wassertonnen schwimmend erhalten, die man, das Spundloch nach unten gekehrt, festnagelt. Und eben hierher gehört auch das Heben gesunkener Massen durch leere Fässer.

Das künstliche Schwimmen des Menschen geschieht, indem derselbe das Wasser durch geeignete Bewegung seiner Hände und Füße unter sich drückt oder stößt, entweder liegend oder stehend und im letzteren Falle mit beiden Füßen das Wasser gleichsam unter sich treibend. Der Körper des Menschen ist etwas schwerer als ein gleiches Volumen Wasser; doch ist der Unterschied im Gewichte eben nicht bedeutend *). Der menschliche Körper verliert aber wie jeder andere Körper im Wasser so viel von seinem Gewichte, als das Gewicht des von ihm verdrängten Wassers beträgt. Um nun den aufwärts gerichteten Druck des Wassers gegen den Körper möglichst nutzbar zu machen, muß man beim Schwimmen alle Theile des Körpers bis auf die Respirationsöffnungen unter Wasser halten **). Ein geübter Schwimmer hat nur eine geringe Kraftanstrengung zum Schwimmen nöthig, während ein Unkundiger auch bei den gewaltigsten Anstrengungen ertrinkt, weil jener alle Theile des Körpers im Wasser läßt und nur geschieht den verhältnißmäßig schwereren Kopf oben erhält, dieser die Arme eher und weiter nutzlos herausbringt, indem er gewissermaßen nach einer Stütze außerhalb des Wassers hascht, oder wie beim Straucheln auf der festen Erde unwillkürlich durch ein Ausstrecken und in die Höhe richten der Arme das verlorne Gleichgewicht wieder herzustellen sucht. Am leichtesten ist das Schwimmen, wenn der Körper auf dem Rücken liegt und der Kopf so weit zurückgebogen wird, daß die Nase aus dem Wasser hervorragt. Auch hat ein des Schwimmens Unkundiger die Bewegungen des Athmens zu mäßigen oder den Athem anzuhalten; beim Einathmen dehnt sich die Brust aus und der Körper steigt aus dem Wasser empor, während er beim Ausathmen der Luft tiefer hinabsinkt. Beim Liegen auf dem Rücken und beim Zurückhalten der eingeathmeten Luft in den Lungen findet ein eigentliches statisches Schwimmen in Folge des Auftriebs statt, während man das künstliche, durch geeignete Stößbewegungen der Hände und Füße gegen das Wasser bewirkte ***), wohl auch ein mechanisches zu nennen pflegt. Auch das Schwimmen der Landthiere betrachtet man mehr als ein statisches, insofern die Bewegungen, welche sie mit den Füßen vornehmen, weniger gegen das Untersinken schützen als vielmehr zur Vorwärtsbewegung dienen. Das specif. Gewicht der Thiere soll etwas geringer als das des Wassers sein ****), während auch ihr Bau zum Behufe des Schwimmens vortheilhaft eingerichtet ist.

Einzelne Personen, namentlich fette, scheinen wirklich specifisch leichter als Wasser zu sein, wenn auch nicht in dem Maße, wie der neapolitanische Mönch Paolo Rocca, der bei einem Gewichte von 300 Pfd. noch um 30 Pfd. leichter

*) Phil. Trans. T. LV. p. 103. Gild. Ann. Bd. XIXIV. S. 34. Edinb. Phil. Journ. New Ser. No. XXIX. p. 159.

**) L'Uomo galleggiante etc. dal Dottore di leggi Oronzo de' Bernardi etc. Napoli 1792. T. II. p. 4 mit 18 Kupferst. Uebers. von Kries. Weimar 1797.

***) Kleines Lehrbuch der Schwimmkunst zum Selbstunterricht u. von J. G. F. Gutmuth. 2. Aufl. 1834.

****) Borelli, de motu animalium Prop. 217.

als ein dem selben gleiches Volumen Wasser gewesen sein soll. Derselbe sank im Meere, ohne eine besondere Bewegung zu machen, nur bis an die Brust ein *).

Bekanntlich schwimmen auch die leichteren Flüssigkeiten auf den schwereren, z. B. Oel auf Wasser. Man kann sie durch Schütteln unter einander mengen; die leichtere steigt aber in der schwereren nach oben erörtertem Gesetze des Auftriebs in die Höhe, so daß sich die leichtere über der schwereren lagert. Jede der schichtenweis (in einem Gefäße) auf einander liegenden Flüssigkeiten hat eine horizontale Fläche. Man gründet hierauf verschiedene Spielereien. Wenn man z. B. eine mit Wasser gefüllte Glasröhre, die mit einer Kugel versehen ist, mit unterwärts gekehrter Oeffnung in rothen Wein einsenkt, so zieht sich das Wasser nach und nach aus der Kugel und Röhre herab, und der leichtere Wein steigt dagegen durch die Röhre in die Kugel hinauf. Man kann diesen Versuch leicht so anstellen, daß es den Anschein hat, als werde Wasser in Wein verwandelt. —

Zum Schlusse unserer hydrostatischen Betrachtung erwähnen wir noch des Druckes lockerer oder halbflüssiger Körper, nämlich pulverförmiger oder körniger Massen, wie Sand, Schrot, Getreide, Erde und dergleichen. Wenn z. B. eine gleichartige Sandmasse in Form eines Kegels oder Prismas aufgeschüttet wird, so erhalten die Seiten bald eine solche Neigung gegen den Horizont, daß der Winkel der Böschung ungerachtet des ferneren Nachschüttens nicht vergrößert wird. Dieser Winkel der steilsten Böschung ist auch gleich demjenigen, unter welchem eine gegen eine feste Wand liegende Sandmasse abfällt, wenn man die Wand rasch entfernt. Die Theile der geneigten Masse hängen nur durch ihre Reibung zusammen. Kennt man nun den Winkel, welchen die geneigte Seite ac (s. beistehende Figur) mit der Verticalen bildet, α' , so hat man für die Kraft, mit welcher ein Körper vom Gewichte p gegen die Seite drückt, $p \sin \alpha'$, und für die Kraft, womit sich derselbe längs der Seite fortzubewegen sucht, $p \cos \alpha'$. Diese letztere Kraft wird aber durch die Reibung aufgehoben, welche, wenn man den Reibungscoefficienten durch μ bezeichnet, gleich $\mu p \sin \alpha'$ ist. Daher $p \cos \alpha' = \mu p \sin \alpha'$, und $\mu = \cotang. \alpha'$, oder auch, falls man den Neigungswinkel von ac gegen ab gleich α setzt, $\mu = \tang. \alpha$.



Was den horizontalen Druck betrifft, welchen eine lockere Masse gegen eine sie berührende Wand, z. B. gegen eine Mauer, ausübt, so findet sich, daß derselbe auch hier gleichmäßig von oben nach unten zunimmt, also der Druckhöhe proportional ist.

Bezüglich des Erddrucks unterscheidet man den activen vom passiven; jener findet statt, wenn die Erde sich gegen ein passives Hinderniß (Mauer, Bohlenwerk u.) stützt, dieser, wenn die Erde einer auf sie einwirkenden Kraft, z. B. dem Drucke eines Gewölbes oder einer liegenden Mauer widersteht. Die sogenannte passive Wirkung des Erddrucks kommt auch beim Gründen der Stütz- und anderen Mauern in Betracht **).

*) Vergl. auch Bernarbia a. a. D. S. 198.

**) Die Theorie des Erddrucks ist in folgenden Schriften mehr oder weniger vollständig abgehandelt: Coulomb, Mémoires de mathématique et de physique, année 1773. p. 343. Théorie des machines simples par Coulomb. — Prony, Leçons sur la poussée

Statik gasförmiger Körper. Die gasförmigen Körper haben mit den tropfbarflüssigen die leichte Beweglichkeit oder Verschiebbarkeit der Theilchen gemein, daher sie denn auch jeden Druck, der auf einen Theil ihrer Masse ausgeübt wird, nach allen Richtungen gleichmäßig fortpflanzen. Und darum verliert auch jeder feste Körper in einem gasförmigen, z. B. in der atmosphärischen Luft, so viel von seinem Gewichte, als das Gewicht der von ihm verdrängten Gasmasse beträgt, worauf bei der genaueren Gewichtsbestimmung der Körper Rücksicht zu nehmen ist (s. Art. Gewicht, Bd. III. S. 543). Wie aber eine tropfbare Flüssigkeit in einer anderen specifisch schwereren aufsteigt, so erhebt sich auch ein Gas innerhalb einer tropfbaren Flüssigkeit und in einem anderen specifisch schwereren Gase. Wird die atmosphärische Luft irgend wo durch die Wärme ausgedehnt, so erhebt sie sich auf Grund des besagten Gesetzes in der umgebenden kälteren Luft vertical aufwärts; und eben darauf beruht auch das Aufsteigen des Rauches. Ueberhaupt werden Körper, welche leichter als die Luft sind, in derselben durch eine Kraft aufwärts getrieben, welche gleich ist dem Unterschiede ihres eigenen Gewichts und dem der verdrängten Luftmasse, nach demselben Gesetze also, welches wir bei tropfbaren Flüssigkeiten kennen gelernt haben. Ein interessantes Beispiel des Aufsteigens eines Körpers innerhalb der atmosphärischen Luft bietet der Luftballon (s. d. Art. Luftball).

Ein unterscheidendes Merkmal der tropfbarflüssigen und gasförmigen Körper ist darin gegeben, daß zwischen den Theilchen der ersteren noch eine gewisse Cohäsion stattfindet, was für die Theilchen der letzteren nicht der Fall ist. Die kleinsten Massentheilchen eines Gases haben vielmehr das Bestreben, sich weiter von einander zu entfernen (s. Art. Expansibilität), so daß sie in Folge dieses Bestrebens, auf jeden Körper, der ihrer Ausbreitung entgegensteht, einen bestimmten Druck ausüben. Hierin besteht nun die sogenannte Expansivkraft der Gase, welche in einer bestimmten Beziehung zu ihrer Dichte und Temperatur steht, worüber die Artikel Gas, Expansibilität und auch der Artikel Dampf das Nähere enthalten.

Zur Erläuterung geben wir noch eine Formel, welche die Spannkraft p irgend eines Gases als Function ihrer Dichte γ und Temperatur t giebt. Bezeichne v das Volumen eines Gases bei der Temperatur Null, P ihre Spannkraft und D ihre Dichte. Wird nun die Temperatur t , während der Druck, dem das Gas unterworfen ist, derselbe bleibt, so ist nunmehr das Volumen $V (1 + \alpha t)$, wo α den Ausdehnungscoefficienten für eine Temperaturveränderung von 1° bedeutet. Die Dichte des Gases steht aber mit dem Volumen im umgekehrten Verhältniß, also hat man für die Dichte D' bei der Temperatur t jetzt
$$\frac{D}{1 + \alpha t}.$$

Verändert sich nun der Druck bei gleichbleibender Temperatur t , so ändert

des terres 1802. Navier, Leçons sur l'application de la mécanique etc. T. I. — Mayniel, Traité experimental etc. de la poussée des terres. 1808. G. Martony de Rószegh, Versuche über den Seitendruck der Erde, ausgeführt auf höchsten Befehl ic. und verbunden mit den theoretischen Abhandlungen von Coulomb und Français. Wien 1828. — Poncelet, Ueber die Stabilität der Erdbefleidungen und deren Fundamente, deutsch von Rahmeyer. 1844. Weissbach, Mechanik, Th. II. S. 1 ff. Hagen, Pogg. Ann. Bd. XXVIII. S. 17. 297.

sich mit demselben auch die Dichte. Bezeichnen wir die veränderte Spannkraft und Dichte des Gases resp. durch p und γ , so ist nach dem Mariotte'schen Gesetze (s. d. Art. Gas) $p : \gamma = P : D'$, daher $p = \frac{\gamma P}{D'}$, oder, wenn man für

D' den obigen Werth einsetzt, $p = \frac{\gamma P (1 + \alpha t)}{D}$, oder endlich, falls $\frac{P}{D} = k$ gesetzt wird, $p = k \gamma (1 + \alpha t)$.

Die tropfbaren Flüssigkeiten können zwar durch äußern Druck comprimirt werden, aber in einem ungleich größeren Maße ist dies bei den Gasen der Fall, indem sie dabei eine sehr bedeutende Verminderung ihres Volumens erfahren, jedoch so, daß sie zu ihrem ursprünglichen Volumen wieder zurückkehren, sobald der äußere Druck wegfällt.

Denkt man sich nun eine verticale Gassäule oder eine verticale Säule atmosphärischer Luft, welche letztere man in physikalischer Hinsicht als Repräsentanten aller Gase betrachten kann, so werden die oberen Schichten auf die jedesmaligen unteren einen Druck ausüben, der sich weiter nach unten fortpflanzt. Dieser Druck (und demgemäß auch die Dichte des Gases) wird also im Allgemeinen wie bei einer tropfbaren Flüssigkeit (Wasser) von oben nach unten zunehmen oder im umgekehrten Sinne, d. h. von unten nach oben abnehmen. Das Gesetz dieser Zu- oder Abnahme des Druckes ist jedoch bei einem Gase ein anderes als bei einer tropfbaren Flüssigkeit. In der letzteren, z. B. im Wasser, nimmt der Druck gleichmäßig von unten nach oben ab; die Abnahme geschieht hier bei gleich großen Erhebungen nach den Gliedern einer arithmetischen Reihe, in einem Gase dagegen, z. B. in der atmosphärischen Luft, unter sonst gleichen Umständen nach den Gliedern einer geometrischen Reihe *). Und dieser Unterschied ist dadurch bedingt, daß die Gase, wie oben hervorgehoben ist, in einem hohen Grade zusammenrückbar sind. Die Bedingung des Gleichgewichtes einer Gassäule besteht aber darin, daß die Spannkraft in allen Punkten einer und derselben horizontalen Schicht von gleicher Größe ist; und soll das Gleichgewicht ein dauerndes sein, so müssen die tiefsten Schichten zugleich auch die dichtesten sein.

Bringt man in ein leeres, unausdehnbares Gefäß, dessen Volumen V sei, zwei verschiedene Gase, denen beziehungsweise die Spannkraften p , p' und die Volumina v , v' zukommen, so hat man für die Spannkraft P des Gemenges auf Grund des Mariotte'schen Gesetzes (s. Art. Gas) $P = p \cdot \frac{v}{V} + p' + \frac{v'}{V}$.

Es ist also auch $P V = p v + p' v'$.

Hat man nun $v = v' = V$, so ist $P = p + p'$, also in diesem Falle die Spannkraft des Gemenges gleich der Summe der Spannkraften beider Gase.

Bezüglich anderer Gleichgewichtsverhältnisse gemengter Gase s. den Art. Diffusion.

Steifigkeit der Seile. Wenn ein Seil um eine Rolle oder Welle gebogen wird, so widersteht es in Folge seiner Steifigkeit (Steifheit) der Biegung, und

*) Die Entwicklung dieses Gesetzes findet sich im Art. Höhenmessung, barometrische, Bd. III. S. 807 ff.

insofern macht sich die Steifigkeit als Bewegungshinderniß geltend. Versuche hierüber sind namentlich von Coulomb angestellt worden. Dabei benutzte er zunächst eine Vorrichtung, die zu demselben Behufe auch schon von Amontons gebraucht war. Es wurden nämlich zwei Seile, die an einem Ende in einer gewissen Entfernung von einander vertical befestigt waren, einfach um eine Walze geschlungen, und an ihren unteren Enden durch ein Gewicht, das sie gemeinschaftlich zu tragen hatten, gespannt. Um die Mitte der Walze war aber ein dünner Faden wiederholt geschlungen und an seinem frei herabhängenden Ende mit einem Gewichte beschwert, durch dessen Zug die Walze an den vorerwähnten Seilen herabgerollt wurde. Sodann wickelte er auch die Seile um Cylinder, die sich auf einer horizontalen Bahn fortwälzen oder rollen konnten. An den beiden Seilenden hingen Gewichte, welche ein langsames Fortrollen des Cylinders bewirkten. Der Widerstand der Steifigkeit ergab sich aus der Differenz dieser Gewichte, nachdem die rollende Reibung in Abzug gebracht war.

Es ergab sich, daß der Widerstand der Steifigkeit eines Seils mit der Spannung zunimmt und dieser proportional ist, so wie auch daß derselbe vom Durchmesser der Rolle abhängt und zwar dergestalt, daß er mit ihm im umgekehrten Verhältnisse steht. Sodann ist noch die Steifigkeit abhängig von der Seildicke, doch führten die Versuche zu keinem entscheidenden Resultate bezüglich des numerischen Verhältnisses zwischen der Steifigkeit und Seildicke, so daß dann auch Manche den Widerstand der Steifigkeit der einfachen Seildicke, Andere aber denselben dem Quadrate dieser Dike proportional annehmen. Diese Unsicherheit liegt zum großen Theil darin, daß die Steifigkeit auch noch durch die materielle Beschaffenheit und den Grad der Drehung der Seile bedingt ist. Für neue Seile erschien die Steifigkeit, wenn man die Seildicke durch d bezeichnet, der Potenz $d^{1.7}$, und für alte nahe der Potenz $d^{1.4}$ proportional. Berücksichtigt man nun noch, daß auch ein ungespanntes Seil zum Umbiegen eine gewisse Kraft erfordert, so ist den vorerwähnten Gliedern, welche den Widerstand der Steifigkeit bedingen, noch eine constante Größe k beizufügen. Allgemein läßt sich nun der Widerstand der Steifigkeit durch die Formel $\frac{d^n}{R} (k + m Q)$ ausdrücken, in welcher d die Seildicke, R

den Halbmesser der Rolle bis zur Mitte des Seils, Q die Seilspannung (in Folge eines angehängten Gewichtes), n , k und m aber erfahrungsmäßig auszumittelnde Constanten bezeichnen. Prony giebt auf Grund der Coulomb'schen Versuche

für neue Seile $\frac{d^{1.7}}{R} (2,45 + 0,053 Q)$ und für alte $\frac{d^{1.4}}{R} (2,45 + 0,053 Q)$.

Hier ist Q in Pfunden und R und d sind in Linien nach dem Pariser Maß gegeben.

Cyrtelwein *) drückt die Steifigkeit (nach Coulomb's Versuchen) bei größeren Spannungen annäherungsweise durch die Formel $\frac{d^2 Q}{3500 R}$ aus, wo sich d auf preuß. Linien, R auf preuß. Fuß und Q auf preuß. Pfund bezieht. Nach dem metrischen Maße ist $\frac{d^2 Q}{R}$ mit 18,6 zu multipliciren.

*) Statik, Bd. II. §. 313 ff.

Denkt man sich nun um eine Rolle ein Seil gelegt, an welchem die Last Q (s. beistehende Figur) hängt, so wird der Hebelarm der letzteren in Folge der Steifigkeit des Seils um etwas vergrößert werden.



Ohne Rücksicht auf die Steifigkeit würde der Hebelarm der Last gleich dem Halbmesser der Rolle (bis zur Ase des Seils gerechnet) sein; wegen der unvollständigen Biegung des Seils wird dieser Hebelarm aber größer. Im ersteren Falle hat man für das Gleichgewicht $PR = QR$ oder $P = Q$, im zweiten (mit Rücksicht auf Steifigkeit) aber $P = Q + \frac{d^n}{R}(k + mQ)$ oder nach Cptelwein's

$$\text{Bestimmung } P = \left(1 + \frac{d^2}{3500 R}\right) Q.$$

Man vergleiche hiermit Art. Rolle, Bd. V. S. 644 ff.

Getheerte Seile sind steifer als ungetheerte. Größere Festigkeit des Gewebes vermehrt die Steifigkeit, und auch die Masse soll in dieser Hinsicht einen vergrößern Einfluss üben.

Steine vom Himmel, s. Feuerkugeln.

Stereoskop ist ein im Jahre 1838 von Wheatstone erfundener Apparat *), durch welchen zwei Projectionen eines Körpers so zu einem einzigen Bilde vereint werden, daß dies die Vorstellung des Körpers als solchen gewährt.

Sehen wir auf einen nicht zu entfernten Körper, so erhalten wir von demselben zwei verschiedene Ansichten, je nachdem wir das rechte oder das linke Auge schließen. Entwerfen wir von diesen beiden Ansichten Zeichnungen und können wir beide zum Zusammenfallen in der Anschauung bringen, so muß derselbe Eindruck entstehen, als wenn wir beide Augen gleichzeitig auf den Körper selbst gerichtet hätten, d. h. beide Zeichnungen werden die lebendige Vorstellung eines Körpers erzeugen. So faßte Wheatstone den Hergang auf, und durch diesen Gedankengang kam er auf den in Rede stehenden Apparat.

Brücke **), Prevost ***), Courtaul ****) und Brewster *****) sind gegen Wheatstone aufgetreten und haben geltend gemacht, daß verschiedene Punkte in dem Angeführten unter verschiedener Schwelte gesehen werden, und daß wir aus der Veränderung der Convergenzpunkte der Augenaxen auf einen Körper schließen, indem wir abwechselnd die näheren und die entfernteren Theile desselben ins Auge fassen. Sie sind daher der Ansicht, daß auch beim Stereoskop die Augenaxen ihre Richtung veränderten, und daß aus dem continuirlichen Schwanken der Augenaxen hier dieselbe Vorstellung hervortrete, wie es bei dem Betrachten eines wirklichen Körpers der Fall sei.

Ob dies Letztere wahrscheinlich sei, hat Dove †) zweifelhaft gemacht, indem

*) Pogg. Ann. Bd. XLVII. S. 628; Ergänzungsabb. I. S. 9.

**) Müller's Archiv für Anatomie 1841. S. 459.

***) Pogg. Ann. Bd. LXII. S. 548.

****) Die Dimensionen der Tiefe im freien Sehen u. Münster 1842.

*****) Edinb. Transact. 1843. p. 349.

†) Berichte der Berliner Acad. 1841. p. 282; vergl. dessen Darstellung der Farbenlehre und optische Studien, Berlin 1853. S. 163.

er durch Versuche nachweist, daß dann die oscillatorische Bewegung der Augenaxen so schnell erfolgen müsse, daß sie in einer kürzeren Zeit als der millionste Theil einer Secunde ausgeführt werde.

Da wir mit einem Auge ebenfalls Körper als solche erkennen, auch die Maler durch perspectivische Zeichnung, durch Abänderung in dem Farbentone u. ihren Gländarstellungen eine körperliche Wesenheit aufprägen; so leuchtet ein, daß bei dem Erkennen der Körper als solcher mehrere Anhaltepunkte einander unterstützend eine Rolle spielen, von denen jedoch nicht nöthig ist, daß sie stets alle gleichzeitig wirksam sind. Je mehr dieser Anhaltepunkte sich unterstützen, desto unwiderstehlicher ist der körperliche Eindruck. Der Maler benützt daher möglichst viele dieser Anhaltepunkte. Eine bloße perspectivische Zeichnung in Umrissen, z. B. die Zeichnung einer abgestumpften Pyramide kann den Eindruck sowohl eines erhabenen, als vertieften Körpers machen, je nach der Vorstellung, mit welcher wir betrachtend hinzutreten. Schattiren wir die Zeichnung der abgestumpften Pyramide, so ist uns schon ein Zwang angethan, dieselbe je nach der Schattirung entweder als erhöht oder als vertieft aufzufassen. Noch mehr ist dies der Fall, wenn Farben hinzutreten, und die Theile, welche näher liegen sollen, intensiver oder heller gefärbt sind, als die mehr zurücktretenden. Im Artikel Sehen ist nachgewiesen, daß wir genau genommen nur den einen Punkt einfach sehen, auf welchen unsere Augenaxen gleichzeitig gerichtet sind, daß wir alle anderen Punkte doppelt sehen. Je mehr die beiden Bilder, welche wir mit beiden Augen sehen, sich decken, desto weniger merken wir, daß wir stets doppelt sehen, so daß viele Personen gar nicht zur Einsicht dieses Doppelbildes gelangen, sondern die Aufmerksamkeit erst noch besonders darauf gelenkt werden muß. Es liegt also nahe, daß, wo die beiden verschiedenen Ansichten eines Körpers, wie sie die beiden Augen einzeln liefern, zum Zusammenfallen kommen, derselbe Eindruck entstehen muß, wie in der Wirklichkeit, wobei immerhin das Bewußtsein dessen, was wir sehen werden oder wollen, mit in Betracht kommt. Ohne dies Bewußtsein würde der Eindrücke nie Körper sehen können; die Erfahrung unterstützt ihn, wiewohl er mehr der Gefahr einer Täuschung ausgesetzt ist, als derjenige, welcher beide Augen benutzen kann. Die Schwierigkeit des Einfädelns einer Nähnadel mit nur einem geöffneten Auge ist ein Beleg hierfür.

Das Zusammenfallen der beiden verschiedenen Ansichten eines Körpers erscheint uns jedenfalls als ein wesentliches Hülfsmittel, Körper als solche aufzufassen, wobei die anderen angedeuteten Hülfsmittel nicht ganz ausgeschlossen bleiben, namentlich die Vorstellung, welche wir mitbringen oder in das Gesehene hineinbringen.



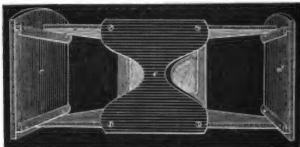
Bei Wheatstone's Apparate kommt es also auf das Zusammenfallen der angegebenen beiden Zeichnungen an. Wie man dies erreichen kann, wird folgende Zeichnung erläutern.

Zwei kleine ebene Spiegel *ab* und *bc* sind, mit den reflectirenden Flächen nach außen gekehrt, unter einem rechten Winkel zusammengestellt. Befindet sich nun ein Object in *a*, vor dem rechten Spiegel, so wird ein Auge in *R*, welches den reflectirten Strahl aufnimmt, das Object in die

Richtung Rk versehen; ebenso wird ein Auge L den von dem linken Spiegel reflectirten und von einem Objecte o_2 ausgehenden Strahl aufnehmen und das Object in die Richtung Lk versehen. Treffen sich beide Strahlen Rk und Lk in k , so fallen die Bilder beider Objecte in k zusammen.

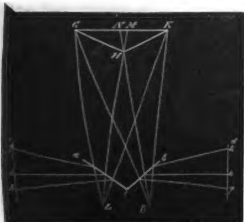
Stellt sich also ein Beobachter den Spiegeln möglichst nahe, so daß er mit dem rechten Auge in den rechten Spiegel und mit dem linken Auge in den linken steht, und befindet sich vor jedem Spiegel eine Zeichnung, die so beschaffen ist, daß sie, zu dem auf derselben Seite liegenden Auge reflectirt, diesem einen gleichen Anblick darbietet, wie der körperliche Gegenstand gewähren würde, und sind beide in solcher Stellung, daß die beiden reflectirten Bilder auf einander fallen, so wird der Eindruck eines Körpers unwillkürlich hervorgerufen.

Wharstone's Stereoskop ist genau hiernach construirt, wie bei- und umstehende Abbild. zeigt. a und b sind die rechtwinkelig zu einander gestellten Spiegel,



befestigt an einem Rahmen und überdeckt mit einem Brete, welches beiderseits ausgeschnitten ist, so daß man beim Auflegen der Nase auf c mit dem einen Auge in den Spiegel a und mit dem anderen in den Spiegel b blicken kann. Die Seitenwände des Rahmens d und e sind einander parallel und unter 45° gegen die Spiegel angebracht. Jede Seitenwand ist mit Leisten versehen, so daß man die auf festes Papier gezeichneten Figuren, welche die einseitigen Ansichten eines Körpers darstellen, zwischen ihnen einschieben kann.

Denken wir uns ein Buch auf den Tisch gestellt, so daß es uns den Rücken zuehrt und die beiden Seiten des Einbandes einen Winkel bilden. Sehen wir mit beiden Augen zugleich die beiden Einbandseiten gleich groß, so erscheint und bei Schließung des rechten Auges die linke Seite größer, als die rechte und umgekehrt bei Schließung des linken Auges die rechte Seite größer, als die linke. Stellen wir die einseitigen Figuren in die betreffenden Spiegel, so daß (s. umstehende Figur) die breiteren Flächen von dem Auge weiter absteilen, also links in e die Fläche gh größer als hk ist und rechts in d die Fläche hk größer als gh ist, so versteht das linke Auge den von g ausgehenden Strahl in die Richtung LG , das rechte Auge in die Richtung RG , so daß sich beide in G schneiden; ebenso wird der von k ausgehende Strahl in die Richtungen LK und RK mit dem Durchschnittspunkte in K versteht; der von h ausgehende Strahl erhält jedoch die Richtungen LM und RN mit dem Durchschnittspunkte H . Der



einem größeren Winkel als HK und umgekehrt dem rechten Auge HK unter einem größeren Winkel als GH .

Würde in einem solchen Falle der Vorstellung etwa durch Schattirung noch zu Hülfe gekommen, so wäre die Erkennung des Gegenstandes natürlich um so leichter. Bei Figuren, welche aus weißen Linien auf schwarzem Grunde gezeichnet sind, sollen alle anderen Hülfsmittel weg; dennoch stellen sich die Gegenstände so dar, wie verlangt wird. Bei Personen, denen der Versuch nicht gelingen will, liegt es oft an der verschiedenen Schweite. Deshalb ist es zweckmäßig, wenn die Seitenwände d und e des Rahmens in verschiedenen Abstand von den Spiegeln gebracht werden können, um so den Ort des Bildes der Schweite anzupassen. Bei einem für die gewöhnliche Schweite construirten Apparat müssen Personen, welche durch eine Brille sehen, diese aufbehalten. Schielenden Personen würde das Stereoskop gewiß gute Dienste leisten, um ihre Augenaxen wieder in die Gewalt zu bekommen.

Durch Wheatstone's Apparat ist man auf das stereoskopische Sehen allseitig aufmerksam geworden. Dove *) theilt mehrere stereoskopische Erscheinungen mit, welche ohne Anwendung eines besonderen Instrumentes sich zeigen. Wir können hier nicht einmal auszugeweise Alles wiedergeben und deshalb sei nur bemerkt, daß, wenn zwei Personen mit auf einander gelegten Stirnen einander in die Augen sehen, für jeden die Augen des anderen zuletzt in einem großen Auge in der Mitte der Stirne zusammen gehen.

Eben so macht Dove darauf aufmerksam, daß, wer im Doppeltsehen geübt ist, ohne Apparat stereoskopisch sehen kann. Die beiden Bilder sind neben einander zu legen, durch Doppeltsehen in einer der Verbindungslinien beider Augen parallelen Richtung in vier zu verwandeln und die beiden mittleren zum Decken zu bringen. Das Relief erscheint dann in der Mitte zwischen seinen beiden Projectionen. Kollmann **) giebt folgende Methode an, bei welcher nur das

*) Darstellung der Farbenlehre, S. 164.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 350.

Relief erscheint. Man legt die Bilder neben einander, stellt zwischen sie eine verticale Scheidewand, deren Höhe ungefähr gleich der Schwelte ist, und stützt sich mit Nase und Stirn auf deren obere Kante; dann legt man einen Finger in jeden äußeren Augenwinkel und zieht die Augen auseinander, bis die Bilder sich decken und als Relief erscheinen. Ich selbst habe das von mir angegebene *) Diplomater zum stereoskopischen Sehen sehr geeignet gefunden, nur dürfen die Mittelpunkte der beiden Projectionen nicht über $2\frac{1}{2}$ Zoll (Abstand der beiden Kreuzungspunkte in den Augen) von einander entfernt sein, so daß sich nur kleinere Abbildungen dazu verwenden lassen. Man erblickt bei Fixirung des fernen Stiftes von den zwischen Stift und Auge befindlichen Abbildungen ein Relief und beiderseits noch die einfachen Projectionen. Dies findet bei einer bestimmten Stellung statt; rückt man die Abbildungen dem Auge näher, so erblickt man 4 Bilder, so daß die beiden Abbildungen in derselben Ordnung sich wiederholen; rückt man die Abbildungen weiter fort, so steht man zwar auch 4 Bilder, aber jede Abbildung hat ihr eigenes Bild neben sich, die immer mehr zur Deckung kommen, je näher die Zeichnung dem fixirten Stifte kommt. Haben die Abbildungen die zur Ergänzung des Reliefs erforderliche Stellung, so sehen auch im Doppeltsehen minder Geübte sehr leicht das Relief. Der Ort der Aufstellung läßt sich nach der im Art. Sehen gegebenen Formel berechnen.

Ueber die Erscheinungen, wenn die beiden im Stereoskop betrachteten Projectionen des Körpers verschieden gefärbt sind, ist Dove a. a. D. zu vergleichen. Zu welchen Schlüssen in Betreff der Entstehung des Glanzes derselbe hierbei gekommen ist, darüber enthält das Nähere Art. Glanz Bd. III. S. 604; eben so giebt Art. Irradiation Bd. IV. S. 132 über dessen Ansichten in Bezug auf Irradiation, zu welchen ihn ebenfalls stereoskopische Untersuchungen führten, die nöthigen Nachweise.

Man hat eine große Anzahl stereoskopischer Apparate erfunden. Dove **) bringt stereoskopische Erscheinungen mit einer Zeichnung hervor, wenn die stereoskopische Zeichnung für das linke Auge eine bloße einfache Umkehrung der für das rechte Auge ist, d. h. wenn die Zeichnungen solche sind, welche, wenn sie für rechts und links sich unterscheiden, für oben und unten identisch bleiben oder umgekehrt. Man hält dann vor das eine Auge ein galiläisches, vor das andere Auge ein astronomisches Fernrohr gleicher Vergrößerung und bringt bei dem Betrachten einer symmetrischen Projection beide Bilder zum Decken.

Eben so hat Dove ***) noch mehrere stereoskopische Apparate angegeben.

Hierher gehört das Prismenstereoskop Dove's, bestehend aus einem Prisma und einer für ein Auge entworfenen Zeichnung, wie solche eben vorher charakterisirt worden ist. Betrachtet man durch ein gleichschenkeliges rechtwinkliges Prisma, dessen Brechungsebene horizontal liegt, welches also so gestellt ist, daß seine Hypotenusenfläche lotrecht steht, der rechte Winkel des Prismas also horizontal liegt, einen aufrecht stehenden Gegenstand, so wird dieser aufrecht an seiner Stelle geblieben sein, aber er wird wie ein Spiegelbild seine rechte Seite mit seiner linken

*) S. Art. Sehen u. Pogg. Ann. Bd. XCVI. S. 601.

**) a. a. D. S. 196 u. Pogg. Ann. Bd. LXXX. S. 448.

**) a. a. D. S. 190 u. Pogg. Ann. Bd. LXXXIII. S. 183.

vertauscht haben. Betrachtet man nun die für das linke Auge im gewöhnlichen Stereoskop entworfene Zeichnung eines Körpers mittelst des vor das rechte Auge gehaltenen Prisma, so wird unter der Voraussetzung, daß beide Projectionen einfache Umkehrungen von einander sind, diese Zeichnung als eine für das rechte Auge entworfene erscheinen. Für das linke bloße Auge bleibt aber das Bild unverändert, und da es leicht ist, durch Drehen des Prismas um eine der auf der Brechungsebene senkrechten Kanten beide Bilder zum Decken zu bringen, so tritt das Relief sogleich in überraschender Schärfe hervor.

Hält man bei unveränderter Lage der Zeichnung das Prisma vor das linke Auge, so erscheint, wenn der Gegenstand als durchsichtig gedacht wird, also der Ansicht sowohl eine äußere convexe, als eine innere concave Oberfläche darbietet, dieser in der Weise verändert, daß die Vorderfläche zur Hinterfläche geworden ist und umgekehrt diese zu jener. Hingegen erscheint der Körper vollkommen unverändert, d. h. derselbe wie im ersten Falle, wenn man mit dem vor das linke Auge gehaltenen Prisma die für das rechte Auge entworfene Zeichnung betrachtet; immer vorausgesetzt, daß er zugleich mit dem anderen unbewaffneten Auge betrachtet wird. Stellt die Zeichnung einen Körper dar, welcher wie eine gerade oder abgefürzte Pyramide nur ein in Beziehung auf die Fläche des Papiers entweder convexes oder concaves Relief geben kann, so erscheint dieselbe Zeichnung für das vor das linke Auge gehaltene Prisma in stereoskopischer Combination mit dem anderen bloßen Auge als convexes Relief, wenn das Prisma hingegen vor das andere gehalten wird, als concaves. Dreht man die Zeichnung, wenn das Prisma vor demselben Auge bleibt, in ihrer Ebene, so erscheint sie bei der Drehung um 90° durch Decken identischer Bilder als ebene Projection, hingegen verwandelt sich das concave Relief in ein convexes, wenn die Zeichnung in ihrer Ebene um 180° gedreht wird.

Will man aus freier Hand experimentiren, so genügt ein Prisma, dessen Kathete 1 Zoll lang und Breite $\frac{3}{4}$ Zoll ist; befestigt man das Prisma an einem Ständer, so kann es noch kleiner sein bis zu 2 Linien Höhe.

Ein anderes Prismenstereoskop Dove's besteht aus zwei Prismen und zwei Zeichnungen. Die beiden in einer lothrechten Ebene drehbaren Prismen mit einander zugekehrten oder abgewendeten Hypotenusenflächen sind an einem Ständer befestigt, der sich oben gabelförmig öffnet, und ein in die Entfernung des deutlichen Sehens stellbares Tischchen zur Aufnahme der Zeichnungen trägt. Sieht man gleichzeitig durch beide Prismen, so ist das Instrument für alle Projectionen brauchbar, sie mögen einfache Umkehrungen von einander sein oder nicht. Doch kann man dies Stereoskop auch wie das vorige gebrauchen, indem man z. B. mit dem linken Auge durch das rechts stehende Prisma blickt und mit dem rechten frei vorbeist, wobei jedoch die Projection eine einfache Umkehrung sein muß.

Ferner hat Dove ein Prismenstereoskop aus einem Prisma und zwei Zeichnungen angegeben. Für Projectionen nämlich, welche nicht einfache Umkehrungen sind, müssen zwar zwei Zeichnungen gegeben sein, aber es ist nicht nothwendig, zwei Prismen anzuwenden. Ist nämlich die eine Zeichnung direct für das linke Auge entworfen, die andere hingegen das gezeichnete Spiegelbild der für

das andere Auge entworfenen, so braucht man nur die erstere mit bloßem Auge zu betrachten, und die andere durch das Prisma.

Auch das bereits im Art. Fernrohr Bd. III. S. 117 erwähnte Reversionsprisma hat Dove zu einem Stereoskop benutzt. Man legt für unsymmetrische Projectionen die für das gewöhnliche Stereoskop entworfenen beiden Zeichnungen in umgekehrter Lage neben einander und projectirt die durch das Reversionsprisma gesehene, also vollständig umgekehrte Zeichnung auf die andere mit bloßem Auge gesehene.

Ein anderweitiges Stereoskop Dove's ist das Spiegelstereoskop für zwei Zeichnungen mit einem ebenen Metallspiegel oder Ableungsprisma. Man legt die für das linke Auge entworfene Zeichnung horizontal und betrachtet dieselbe mit bloßem linken Auge. Vor das rechte Auge hält man einen kleinen Metallspiegel oder ein Ableungsprisma und betrachtet bei einfachen Figuren dieselbe in einer lothrechten Ebene gehaltene Zeichnung in analoger Lage oder für unsymmetrische Darstellungen eine Zeichnung, welche das Spiegelbild der für das rechte Auge entworfenen Projection ist.

Endlich hat Dove noch gezeigt, daß man die Doppelbrechung als Stereoskop benutzen kann. Man legt zwei Zeichnungen neben einander und betrachtet die eine durch ein vor ein Auge gehaltenes doppelbrechendes achromatisches Prisma, sogleich dieselben Zeichnungen mit bloßem Auge. Man erhält dann durch Combination statt 6 Bilder 5 und unter diesen ein körperliches. Der Versuch gelingt indessen nur schwierig.

Daß man die Camera lucida in ähnlicher Weise wie das gleichschenkelige rechtwinkelige Prisma zum Stereoskop verwenden kann, hat G. Wilde *) gezeigt. Die eine Zeichnung muß natürlich wie bei Dove's Spiegelstereoskop vertical stehen, die andere horizontal liegen.

Kollmann **) hat eine Methode angegeben, durch welche man zwei Reliefs, ein erhöhtes und ein vertieftes, durch dieselben beiden einfachen Zeichnungen erhalten kann. Es besteht dies Verfahren darin, daß er zwischen beiden Zeichnungen, deren Mittelpunkte etwa um den Abstand der Augenmittelpunkte von einander entfernt sind, zwei mit dem Rücken gegeneinander gestellte ebene Spiegel senkrecht aufstellt. Dann sieht man mit dem rechten Auge das Bild rechts und mit dem linken das Spiegelbild des linken Bildes, ebenso mit dem linken Auge das Bild links und mit dem rechten Auge das Spiegelbild des rechten Bildes.

Ebenso giebt derselbe ein Farbenstereoskop an, bestehend aus einer farbigen Doppelzeichnung und zwei gefärbten Gläsern. Die Hauptsache ist dabei, durch ein farbiges Glas die eine Farbenzeichnung für das eine Auge, und durch ein anderes Glas die andere Farbenzeichnung für das andere Auge unsichtbar zu machen. Die beiden Farbenzeichnungen oder farbigen Projectionen müssen denselben Mittelpunkt haben, also auf einander liegen.

Am verbreitetsten ist das Linsen-Stereoskop von Brewster **), bei welchem das Decken der Bilder durch zwei Halblinien hervorgebracht wird, welche als Prismen von kleinen Winkeln wirken, während Dove Prismen von großen

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 63.

**) Ebend. Bd. XC. S. 186.

***) Report of the British Association for 1849. p. 6.

Winkeln verwendet. Eine Sammellinse von 6 bis 7 Zoll Brennweite wird mitten durchgeschnitten, und jede Hälfte rund geschliffen, um sie in einem Rohre fassen zu können. Sind die Röhren, welche als Hülsen dienen und wie bei einem doppelten Operngucker angebracht sind, drehbar, so werden beide so gestellt, daß die dünneren Seiten gegen einander gerichtet sind, d. h. daß die brechende Kante, wenn man die Gläser als Prismen ansieht, nach der Nase zu liegt. Bringt man nun die Zeichnungen innerhalb der Brennweite der Linsen, so wirken diese zunächst wie Lesegläser, außerdem aber erscheint das rechte Bild etwas nach links und das linke etwas nach rechts gerückt, so daß beide zusammenfallen und sich überdecken.

In neuerer Zeit hat man Photographien als Objecte für die Stereoskope zur Anwendung gebracht, welche so aufgenommen sind, daß die eine die Projection für das rechte Auge giebt, während die andere dieselbe für das linke Auge darstellt. Da die Entfernung des deutlichen Sehens im Allgemeinen 5mal größer ist als der Abstand der Augenmittelpunkte von einander, so müssen die beiden Ansichten von Standpunkten aufgenommen werden, welche zu der Entfernung in diesem Verhältnisse stehen. Eine Hauptsache ist, daß die beiden Ansichten gleichzeitig aufgenommen werden, also daß man sich zweier photographischen Apparate gleichzeitig bedient, welche genau übereinstimmen, da man sonst namentlich in Betreff des Schattens Unterschiede erhält, welche störend wirken, da durch den andern Stand der Sonne der Gegenstand eine andere Beleuchtung erhält.

Neuerdings hat Helmholtz *) ein Telestereoskop construirt, welches zunächst der wissenschaftlichen Optik bestimmt, doch zugleich eine sehr werthvolle Gabe für die Uebung und Gewandtheit im richtigen Gebrauche des Auges, sowohl für Schätzung von Fernen, als überhaupt für die Prüfung der Wahrheit einer Anschauung, eben so interessant für den Naturästhetiker, den Landschaftler u., als angenehm anregend für den nativen Genuß der „schönen Gegend“ ist.

Das gewöhnliche Stereoskop ist für Gegenstände von geringer Entfernung bestimmt; bei fernern Gegenständen sind die beiden Augen einander zu nahe, um merklich verschiedene Ansichten zu geben, weshalb die Beurtheilung ihrer körperlichen Form, Entfernung u., wenn nicht Schlag Schatten und Luftperspective einzelne Aufschlüsse geben, höchst unvollkommen ist. Im Stereoskop kann man zwei photographische Ansichten einer Landschaft combiniren, welche von zwei beliebig weit von einander entfernten Standpunkten aufgenommen sind, und welche hinreichend von einander geschieden sind, um eine deutliche Vorstellung der körperlichen Form zu geben. Helmholtz hat nun durch sein Instrument, das man als Stereoskop für ferne Gegenstände Telestereoskop genannt hat, dasselbe beim Anblick einer Landschaft erreicht, was sonst die beiden photographischen Bilder leisten, d. h. beim Anblick einer Landschaft durch das Instrument hat man gleichzeitig zwei sich deckende Ansichten, die man einzeln von weiter auseinander liegenden Standpunkten haben würde, als der Abstand beider Augen von einander beträgt.

Das Telestereoskop besteht aus einem etwa 4 Fuß langen Brete, an dessen Enden, senkrecht gegen die Fläche und 45° gegen die Längelinie des Bretes geneigt, zwei Spiegel befestigt sind. In der Mitte des Bretes sind, diesen Spiegeln parallel, zwei kleinere befestigt, in deren einen der Beobachter mit dem rechten, in den andern mit dem linken Auge hineinsieht. In den kleinen Spiegeln sieht er

*) Pogg. Ann. Bd. Cl. S. 494; aus der Vossischen Zeitung 1857, No. 149.

die großen, in den großen die Landschaft gespiegelt. Nach Bedürfnis können vor die Augen des Beobachters noch Brillengläser oder ein doppeltes Opernglas eingeschaltet werden, um Vergrößerungen hervorzubringen. Dabei steht nun das rechte Auge des Beobachters die Landschaft so wie sie vom rechten Ende des Bretes, das linke, wie sie vom linken erscheint. Dem Beobachter wird also künstlich gleichsam eine Augendistanz von 4 Fuß, statt der gewöhnlichen von noch nicht 3 Zoll gegeben.

Der Anblick ist ein überraschend zierlicher, da er die der stereoskopischen Photographien um eben so viel übertrifft, wie ein vollendetes Oelgemälde einen Kupferstich. Gegenstände, welche eine viertel- bis eine halbe Meile entfernt sind, lösen sich deutlich von ihrem Hintergrunde ab, nähere erscheinen in ihrer vollen körperlichen Gestalt, und namentlich Baumgruppen gewähren einen eigenthümlichen Anblick, weil sich die Kronen und Zweige ganz von einander ablösen. Die Landschaft tritt aus ihrem Rahmen.

S. G.

Sterne sind die am nächtlichen Himmel erscheinenden leuchtenden Weltkörper, welche in Fixsterne (Bd. III. S. 215), Planeten (Bd. V. S. 319), Nebenplaneten (ebenda S. 358) und Kometen (Bd. IV. S. 323) eingetheilt werden.

Sternbilder oder Asterismen heißen die Gruppen von Fixsternen, welche man unter einem gemeinschaftlichen Namen zusammengefaßt hat, um das Heer der Fixsterne leichter übersehen zu können.

Wann die Sternbilder eingeführt worden sind, ist schwer zu ermitteln. Chiron, der Lehrer Jason's (um 1420 v. Chr.), soll zum Gebrauche der Argonauten den Sternenhimmel in Gruppen eingetheilt haben. Hesiod (um 880 v. Chr.) spricht von den Plejaden, dem Arctur, Orion und Sirius. Homer erwähnt bei seiner Beschreibung des achilleischen Schildes der Plejaden, Hyaden, des Orion und des Bären. In der Bibel kommen im Buche Hiob die Namen des Orion, der Plejaden und der Hyaden vor. Ptolemäus zählte 48 Sternbilder auf, 21 nördliche, 15 südliche und 12 in der Nähe des Aequators oder vielmehr in der Ekliptik. Die letzteren sind: der Widder, der Stier, die Zwillinge, der Krebs, der Löwe, die Jungfrau oder Ceres, die Waage oder die Scheren des Scorpions, der Scorpion, der Schütze oder Chiron, der Steinbock, der Wassermann oder Deukalion, die Fische. Ausonius hat sie in folgende lateinische Verse gebracht:

Sunt Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo,

Libraque, Scorpius, Arcitenens, Caper, Amphora, Pisces.

Die 21 nördlichen Sternbilder waren: der kleine Bär oder der kleine Wagen, der große Bär oder der Wagen Davids, der Drache, Cepheus, Bootes, die nördliche Krone, Hercules, die Leier, der Schwan, Cassiopeja, Perseus, der Fuhrmann, der Schlangenträger (Ophiuchus), die Schlange, der Pfeil und Bogen, der Adler, der Delphin, das kleine Pferd, Pegasus, Andromeda und das nördliche Dreieck oder das Delta. — Die 15 südlichen Sternbilder waren: der Wallfisch, Orion, der Fluß Eridanus, der Hase, der große Hund, der kleine Hund, das Schiff Argo, die weibliche Wasserschlange, der Pecher oder die Urne, der Rabe, der Altar, der Centaur, der Wolf, die südliche Krone (Caduceus) und der südliche Fisch.

Im Allgemeinen stehen die zu einem Sternbilde gehörigen Sterne zu dem Umrisse der Figur in keiner Beziehung; auch passen die benachbarten Sternbilder nicht genau an einander. Es gab daher noch manche Sterne, die zu keinem der Sternbilder des Ptolemäus gehörten, und die man daher *unförmliche* nannte. Aus diesen unförmlichen Sternen hat man später noch neue Sternbilder gemacht, indem man zum Theil noch Sterne aus anderen Sternbildern hinzunahm. Tycho de Brahe fügte das Haar der Berenice und den Antinous hinzu. Johann Bayer vermehrte um dieselbe Zeit den südlichen Himmel um 12 Sternbilder; sie sind: der Pfau, der Lufan oder die amerikanische Gans, der Kranich, der Phönix, die Dorade oder Kipiaß, der fliegende Fisch, die männliche oder südliche Wasser Schlange, das Chamäleon, die Biene oder Fliege, der Paradies-Vogel, das südliche Dreieck und der Indianer. Durch Augustin Royer (1679) und Hevel (1690) kamen noch folgende Sternbilder hinzu: die Giraffe oder das Kamelopard, das Einhorn, der Fluß Jordan oder die Jagdhunde (Asterion und Chara), der Fluß Tigris oder der Fuchs mit der Gans, die Eidechse oder das Scepter und die Hand der Gerechtigkeit, der uranische Sextant, der kleine Löwe, der Luchs, das Schild des Sobiesky, das kleine Dreieck, Cerberus und der Zweig, die Taube des Noah, das südliche Kreuz, die kleine Wolke, die große Wolke und die Lilie oder die Fliege. Halley (1677) trennte von dem Schiffe Argo die Carlbeiche ab zum Andenken an Carl II. Auf Flamsteed's Karten findet sich noch der Berg Mánalus und das Herz Carl's II. Lacaille führte (1752) auf der südlichen Hemisphäre noch 14 Sternbilder ein: die Bildhauerwerkstatt, den chemischen Ofen, die Secundenpendeluhr, das rhomboidische Netz, den Grabstichel, die Malerstaffelei, die Buffole, die Luftpumpe, den Octant, den geometrischen Zirkel, das Winkelmaaß und Lineal, das Teleskop, das Mikroskop und den Tafelberg. Von Lemonnier (1776) rührt das Renntbier und das Bild des Einsiedler her, von La Lande (1774) der Erntehüter, von Bozobut (1777) der königliche Stier von Boniatowsky, von Hell (1790) die Georgsbärte. Außerdem findet man auf Bode's Karten noch: die Friedrichsche, das brandenburgische Scepter, das Herschel'sche Teleskop, den Luftballon, den Mauerquadranten, die Vochleine, die Elektrirmaschine und die Buchdruckerwerkstatt. — Im Ganzen zählt man also 48 alte und 60 neue, zusammen 108 Sternbilder des Himmels.

Außerdem unterscheidet man noch die Plejaden, die Hyaden, die Keule des Herkules, den Gürtel des Orion, die beiden Egel im Krebs, die Krippe, die Ziegen oder Böcke im Fuhrmanne.

Wir sehen, daß, während die Namen der früheren Sternbilder sich auf die Mythologie und mythische Geschichte bezogen, man später wichtige, besonders naturwissenschaftliche Entdeckungen und zum Theil historische Personen zur Bezeichnung der Sterngruppen benutzt hat. Vergebens sind einige Versuche gemacht worden, die alten Namen der Sternbilder durch neue, zum Theil sehr abgeschmackte zu verdrängen. So wollte z. B. Weigel, Professor in Jena im 17. Jahrhunderte, die Wappen aller Adligen an den Himmel versetzen, so daß die Sternbilder des Thierkreises durch die Wappenschilder der zwölf berühmtesten europäischen Häuser verdrängt werden sollten. Julius Schiller in Augsburg gab 1627 einen christlichen Sternenhimmel (*coelum stellatum Christianum ad majorem ecclesiae triumphantis gloriam*) heraus, in welchem die Namen der

Heiligen der katholischen Kirche prangten und die Apostel die Stelle der zwölf Zeichen des Thierkreises einnahmen. Wartsch und Phil. Cäsius haben ähnliche Versuche gemacht.

Namentlich die Araber haben den einzelnen großen Sternen auch besondere Namen beigelegt, was eigentlich unnöthig war, da man sich gerade bei diesen großen Sternen leicht anders helfen konnte: Aldebaran ist z. B. das Auge des Stieres, Regulus das Herz des Löwen etc. Joh. Bayer führte in seiner *Uranometria* (Augsburg 1603) die bis jetzt noch beibehaltene Bezeichnungsart durch die Buchstaben des griechischen und lateinischen Alphabets ein. Die vier Hauptsterne eines Sternbildes wurden gewöhnlich mit α , β , γ , δ bezeichnet. Nach Erschöpfung der Buchstaben der beiden Alphabete bezeichnen die Neueren die noch übrigen Sterne des Sternbildes durch Zahlen, wobei ein bekannter Sternkatalog zu Grunde gelegt wird, oder durch die Zahlen, welche den Ort des Sternes am Himmel bestimmen.

Die alten Namen sind mit der neueren Bezeichnung in folgendem Verzeichnisse zusammengestellt.

Acrab, β Scorpii.
 Acharnar, α Eridani.
 Alamak, γ Andromedae.
 Albireo, β Cygni.
 Alchiha, α Corvi.
 Alecyone, η Pleiadum.
 Aldebaran, α Tauri.
 Alderamin, α Cephei.
 Algenih, γ Pegasi.
 Algieba, γ Leonis.
 Algol, β Persei.
 Alhena, γ Geminorum.
 Alioth, ϵ Ursae maj.
 Alkaid, η Ursae maj.
 Alphard, α Hydrae.
 Alrami, α Sagittarii.
 Alschain, β Aquilae.
 Altair, α Aquilae.
 Alula, γ Ursae maj.
 Antares, α Scorpii.
 Arktur, α Bootis.
 Arneb, α Leporis.
 Asellus bor., γ Cancrī.
 Asellus austr., δ Cancrī.
 Bellatrix, γ Orionis.
 Beteigenge, α Orionis.
 Canopus, α Argo navis.
 Capella, α Aurigae.
 Castor, α Geminorum.
 Chaph, β Cassiopeiae.

Cursa, β Eridani.
 Deneb, α Cygni.
 Denebola, β Leonis.
 Diphda, β Ceti.
 Dubhe, α Ursae maj.
 Elektra, b Pleiadum.
 Enif, ϵ Pegasi.
 Fomalhaut, α Piscis austr.
 Gemma, α Coronae bor.
 Giedi, α Capricorni.
 Hamal, α Arietis.
 Izar, ϵ Bootis.
 Kiffa austr., α Librae.
 Kocab, β Ursae min.
 Markab, α Pegasi.
 Megrez, δ Ursae maj.
 Menkab, α Ceti.
 Merak, β Ursae maj.
 Merope, d Pleiadum.
 Mesarthim, γ Arietis.
 Mirach, β Andromedae.
 Mirfok, α Persei.
 Mirza, β Canis maj.
 Mizar, ζ Ursae maj.
 Nath, β Tauri.
 Phekda, γ Ursae maj.
 Pleione, h Pleiadum.
 Pollux, β Geminorum.
 Praesepe, ϵ Cancrī.
 Procyon, α Canis min.

Ras-Algeti, α Herculis.
 Ras-Alage, α Ophiuchi.
 Regulus, α Leonis.
 Rigel, β Orionis.
 Ruccabah, α Ursae min.
 Scheat, β Pegasi.
 Schedir, α Cassiopeiae.
 Sertan, α Cancri.
 Sheliak, β Lyrae.
 Sirra, α Andromedae.

Sirius, α Canis maj.
 Spica, α Virginis.
 Sulaphat, γ Lyrae.
 Taygeta, ϵ Pleiadum.
 Thuban, α Draconis.
 Vindemiatrix, β Virginis.
 Wega, α Lyrae.
 Wezen, δ Canis maj.
 Zaurak, γ Eridani.
 Zavijava, β Virginis.

Einige Sterne haben noch anderweitige Bezeichnungen erhalten: der Aldebaran heißt auch *Palicium* und ist der größte Stern unter den Hyaden, das Auge des Stiers; die Spica wird auch *Kornähre* oder *Azimach* genannt und gehört zur Jungfrau; der hellste Stern des kleinen Bären Ruccabah heißt auch *Polarstern*, weil er in der Nähe des Nordpols steht, auch führt er bisweilen den Namen *Tramontana*, weil man in Italien den Nordpol so nennt; über Mizar im großen Bären steht ein kleiner Stern, das *Reuterlein*; die drei Sterne δ , ϵ , ζ im Gürtel des Orion nennt man den *Jacobsstab*; die Plejaden nennt man auch die *Gluckenne*.

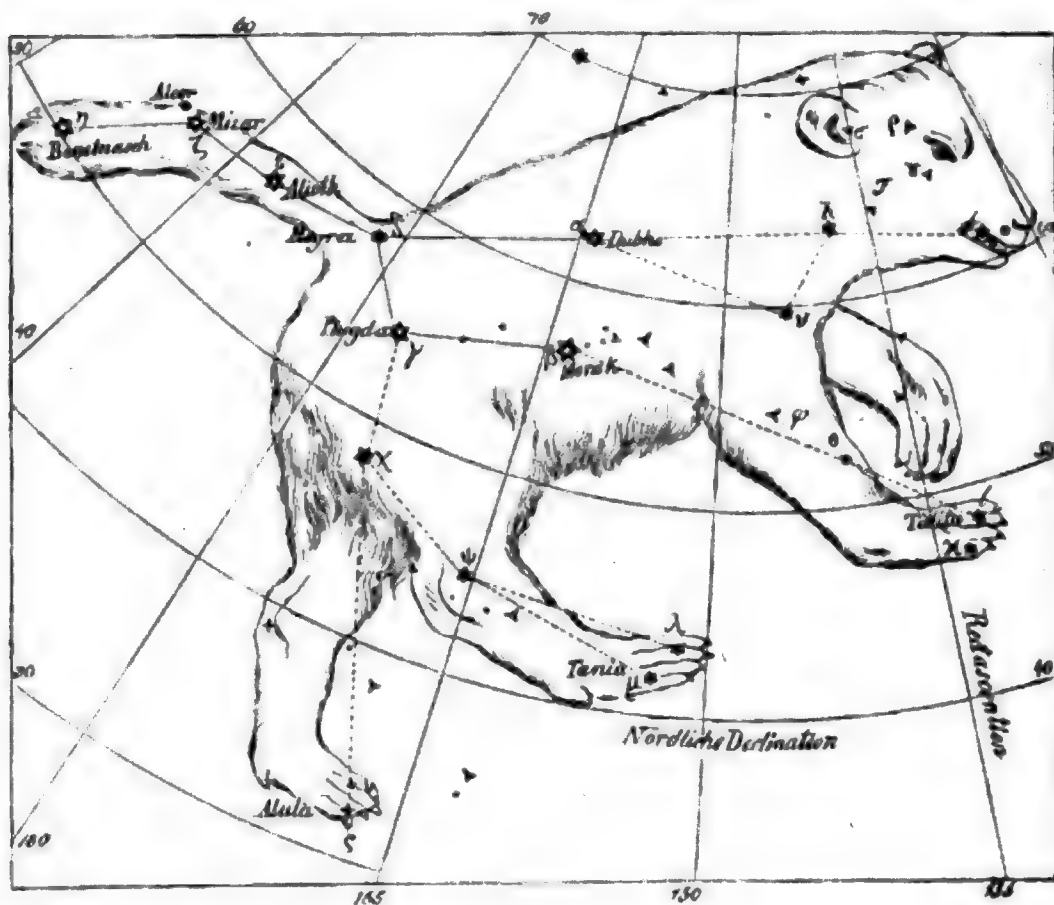
Den Ort der Sterne am Himmel bestimmt man astronomisch durch Breite und Länge (s. Bd. I. S. 904), oder durch Höhe (s. Bd. III. S. 806) und Azimuth (s. Bd. I. S. 654), oder durch Rectascension (s. Art. Aufsteigung, Bd. I. S. 569) und Declination (s. Art. Abweichung, Bd. I. S. 46).

Zur Orientirung am Himmelzelt hat man die Sterne und Sternbilder sowohl auf Himmelsgloben als auf Sternkarten in der Weise verzeichnet, daß die Sterne nach ihrer Größe und ihren verhältnißmäßigen Abständen, auch mit ihren Namen eingetragen und unter einander durch Linien zu denjenigen Figuren verbunden sind, welche ihre Namen bezeichnen. Doch wird man sich nach diesen Figuren, welche oft gar keine Ähnlichkeit mit den Sterngruppen selbst haben, — der Scorpion hat allerdings mit einem Käfer Ähnlichkeit, auch die Krone, die Schlange, der Drache, der Stierkopf verlangen weniger Phantasie — schwerer einen Kenntniß des Sternenhimmels zu verschaffen vermögen, als wenn man sich die Sternbilder und einzelnen Sterne nach ihrer gegenseitigen Lage, d. h. die geraden Linien merkt, welche die verschiedenen Sternbilder unter einander in Verbindung setzen. Auf manchen Karten sind deshalb auch nur diese Linien (*Alignements*) statt der Umrisse der Figuren angegeben. Eine Probe hiervon giebt das in nachfolgender Abbildung gelieferte Sternbild des großen Bären.

Verbindet man die Sterne α und β durch eine gerade Linie und verlängert diese über α hinaus, so trifft man auf den Polarstern, den äußersten Stern im Schwanz des kleinen Bären. Der Stern α heißt *Dubhe*, β *Meraf*, γ *Phegda*, δ *Megrez*, ϵ *Alioth*, ζ *Mizar*, η *Benetnasch* oder *Akaid*, λ und μ *Tania*, ν und ξ *Mula*, ι *Talita*; in der Nähe von Mizar steht der kleine Stern *Alcor*.

Wie man sich mit Hülfe eines Himmelsglobus am Himmel orientiren kann, das enthält Art. *Himmelsglobus*, Bd. III. S. 804.

Der älteste Sternkatalog rührt von Hipparch her und ist uns von Ptolemäus mit kleinen Aenderungen überliefert. Er enthält 1026 Sterne. Einer der berühmtesten Kataloge ist von Ulugh Beig, Tamerlan's Enkel, mit 1019



Sternpositionen für das Jahr 1437. Kepler gab Tycho's Katalog heraus. Ferner ist zu erwähnen der Katalog des Landgrafen von Hessen (Wilhelm IV.) unter Rothmann's und Byrgius' Mitwirkung; Hevel's Katalog mit 1564 Sternpositionen für 1660. Alle diese Kataloge basirten auf Beobachtungen mit bloßen Augen. Durch Benutzung des Fernrohrs mehrte sich die Sternenzahl. Halley gab ein Verzeichniß der südlichen Sterne (1677 und 1678); Lacaille verzeichnete 9776 südliche 1751 bis 1752; Tobias Mayer gab 998 Sternpositionen für 1756; Flamsteed 2866 Sterne, denen Baily noch 564 Sterne hinzufügte; Bradley 3222 Sterne; Bond 1112 Sterne; v. Zach 381 Sterne; Piazzi 7646 Sterne für 1800; Thomas Brisbane und Rümker 7385 südliche Sterne nach Beobachtungen auf Neuhoolland von 1822 bis 1828; Airy 2156 Sterne für 1845; Rümker 12000 Sterne nach Hamburger Beobachtungen; Argelander 560 Sterne nach Beobachtungen zu Albo; Taylor 11015 Sterne nach Beobachtungen zu Madras; Baily 8377 Sterne (1845); Jérôme Lalande 47390 Sterne nach Beobachtungen von Le François de Lalande und Burkhart 1789 bis 1800; Henderson, Maclear und Johnson haben reiche Verzeichnisse für die südliche Hemisphäre geliefert.

Die ersten brauchbaren Sternkarten lieferte Bayer (1603). Flamsteed's Atlas (Atlas coelestis, Lond. fol. 1729) enthält 28 Blätter. Zu den

schönsten und richtigsten Sternkarten gehören: Bode's Vorstellungen der Gestirne (34 Quartblätter mit einem Verzeichnisse von 5058 Sternen, Berlin 1782; zweite Ausgabe mit 5877 Sternen, Berlin 1805); Bode's Karten zu dessen „Anleitung zur Kenntniß des gestirnten Himmels“; Bode's Uranographie (26 Blätter in gr. Fol., Berlin 1801, mit einem Kataloge von 17240 Sternen); Goldbach's Himmelsatlas (27 Doppelblätter in 4., Weimar 1799); Harding's Atlas novus coelestis (27 Karten 1822), mehr als 50000 Sternpositionen enthaltend. Ein großartiges Werk geht seit 1825 von der Berliner Akademie aus, welches alle vorhandenen an Genauigkeit übertrifft und nicht wenig zu den in neuester Zeit so zahlreichen Planetenentdeckungen beigetragen hat. Die Karten erscheinen in Berlin unter dem Titel: „Akademische Sternkarten“ u., enthalten alle Sterne bis zur neunten Größe, sogar einen Theil der Sterne zehnter Größe und beruhen namentlich auf Bessel's Beobachtungen. Bessel hat nämlich von 1825 bis 1833 die Positionen der Sterne zwischen — 15° bis $+45^{\circ}$ beobachtet und herausgegeben. Diese Zonen enthalten 75011 Beobachtungen, von denen 31085 auf — 15° bis $+15^{\circ}$ kommen. Argelander hat von 1841 bis 1843 diese Zonen bis zum 80. Parallel fortgeführt und die Positionen von 22000 Sternen bestimmt, zu denen später noch die Beobachtungen von — 15° bis 31° hinzugekommen sind. Diese Bonner Zonen enthalten 49674 Beobachtungen.

Literarische Nachweise finden sich in v. Humboldt's Kosmos Bd. III. S. 147 — 156 und S. 191 ff., ferner in: Arago's sämtliche Werke. Deutsche Ausgabe von Hankel. Bd. XI. S. 257 — 303. Die zu letzterem Werke gehörigen Himmelskarten der südlichen und nördlichen Halbkugel sind in unserem Werke dem Art. Milchstraße, Bd. IV. S. 1072 beigelegt.

Zur Einübung der Sternbilder und zur Orientirung am Sternenhimmel wird der Atlas des gestirnten Himmels von J. J. von Littrow, Stuttgart 1854, gute Dienste leisten. Ein gutes populäres Werk über die Sternkunde ist: Der Sternhimmel von Dr. K. F. Altden. Weimar 1848. H. G.

Sternkunde, s. Astronomie.

Sternschnappen, s. Feuerkugeln.

Sternzeit, s. Zeit.

Stethoskop ist eine von Laennec *) angegebene akustische Vorrichtung, welche von den Ärzten vielfach zur Untersuchung kranker Körpertheile, insbesondere der Brust, benutzt wird. Dasselbe besteht einfach aus einem Cylinder von hartem Holz, der etwa 1 Fuß lang und $1\frac{1}{4}$ Zoll dick, am einen Ende flach, am anderen aber ein wenig ausgehöhlt oder wohl auch der Länge nach durchbohrt ist. Die Wirkung dieser Vorrichtung beruht auf der starken Fortpflanzung des Schalles (s. d. Art.) durch feste Körper. Das eine Ende des Stethoskopes wird auf den kranken Körpertheil und das Ohr an das andere Ende gehalten, wo sich dann aus der Eigenthümlichkeit des vernommenen Geräusches, welches durch Resonanz verstärkt ist, auf die Anwesenheit innerer Höhlungen schließen läßt. Zuweilen befindet sich in dem Cylinder wohl auch noch eine messingene Röhre (3 bis 4 Zoll lang und 5 Linien weit), die ausgezogen mit dem Ohre in Verbindung gesetzt

*) De l'Auscultation médiate etc. Paris 1819.

wird. — Ein biegsames Stethoskop ist in *Forcier's Notizen* *) beschrieben. Complicirter und minder bequem ist ein von *Wheatstone* **) unter dem Namen „*Mikrophon*“ vorgeschlagenes Stethoskop, welches zur Wahrnehmung sehr schwacher Töne dienen soll. Ein Becken von Messing, das passend für das Ohr eingerichtet und gegen die harten Theile des Kopfes gestemmt werden kann, ist in seiner Mitte mit einem langen Metallstabe verbunden, welcher die Schallwellen zum Becken und Ohre leitet.

Stibium, s. *Antimon*.

Stickstoff, Salpeterstoff oder *Azotyl* (*Nitrogenium*, *Nitrogène*, *Azote*), ein Element, zu den Nichtmetallen gehörend. Chemisches Zeichen: *N*. Äquivalent: 175 ($O = 100$) oder 14 ($H = 1$).

Die Erfahrung, daß atmosphärische Luft durch Verbrennen und Athmen verdorben werde und dann nicht mehr zur Unterhaltung beider tauglich sei, ist natürlich sehr alt. Erst in der Mitte des 17. Jahrhunderts trat die Ansicht hervor, daß die atmosphärische Luft zwar ein Element, also ein einfacher Körper sei, aber dennoch Beimengungen enthalte, die für gewisse Prozesse (Athmen und Verbrennen) besonders wirksam seien. Doch vergingen noch über 100 Jahre, bevor man über die Constitution der Luft ins Reine kam, denn noch 1774 sah *Lavoisier* die Luft nicht als eine Zusammensetzung verschiedener Bestandtheile an. *Rutherford* zeigte 1772 zuerst, daß die Luft nicht allein durch den Athmungsproceß verdorben werde, sondern daß sie an und für sich schon einen Bestandtheil enthalte, der zur Unterhaltung des Athmens und Verbrennens unfähig sei. Er stellte sogar diesen Bestandtheil der Luft dar, indem er aus Luft, in welcher Thiere geathmet hatten, die fixe Luft (Kohlenäure) durch Kalilauge entfernte. Durch die Versuche von *Scheele* und *Lavoisier* wurde endlich 1775 dargethan, daß die atmosphärische Luft ein Gemenge von Sauerstoff und Stickstoff sei. Von *Lavoisier* rührt der Name *Azot* (von *a* privativum und *ζωη*, Leben) her, weil es nicht geeignet ist, das Athmen zu unterhalten. Hiervon ist auch die deutsche Benennung *Stickstoff* abgeleitet. Den Namen *Nitrogène* hat *Chaptal* eingeführt, weil der Stickstoff einen Bestandtheil der Salpetersäure (*Acidum nitricum*) ausmacht.

Der Stickstoff waltet in der Luft bedeutend vor, um die Einwirkung des Sauerstoffs zu mildern. Außerdem findet er sich in geringer Menge in einigen mineralischen Substanzen (*Braun- und Steinkohlen*); verschiedene Quellen, namentlich warme, entwickeln gleichfalls Stickstoff, der entweder aus der Luft herührt oder von organischen Stoffen, die in Zersetzung begriffen sind. Er bildet ferner einen wesentlichen Bestandtheil des Pflanzen- und Thierkörpers; besonders die Samen der Pflanzen sind mit wenigen Ausnahmen sehr reich an stickstoffhaltigen Verbindungen, vor allen die sogenannten Hülsenfrüchte, die man deshalb auch das Fleisch der Vegetation nennt. — Nach *Reiset* ***) entweicht bei der Fäulniß von organischen Stoffen an der Luft eine nicht unbedeutende Menge von freiem Stickstoff.

Die atmosphärische Luft bildet auch eine reiche Quelle für die Darstellung

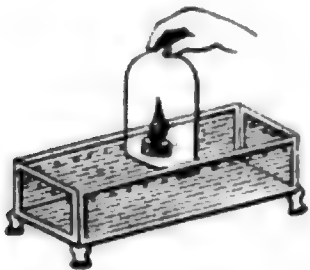
*) *Bd. XXVI. S. 206.*

**) *Bergelius, Jahresbericht. Bd. VIII. S. 9.*

***) *Compt. rend. T. XLII. pag. 33.*

des Stickstoffes, da sich der Sauerstoff sehr leicht durch verschiedene Mittel fort-schaffen läßt. Dazu eignen sich besonders leicht oxydirbare Körper; schüttelt man Luft mit Eisenorydulhydrat, Schwefelleberlösung oder fein zertheiltem angefeuchteten Blei, so wird sehr bald der Sauerstoff absorbiert. Dasselbe bewirken Kupfer-drehspäne, die mit Salz- oder Schwefelsäure befeuchtet sind, oder Phosphor, wenn man darüber die Luft durch eine Glasglocke absperrt und 24 Stunden stehen läßt. Leitet man Luft über glühendes Kupfer, das durch Wasserstoffgas aus Kupfer-oryd reducirt worden ist, so erhält man gleichfalls Stickstoff. Deckt man eine

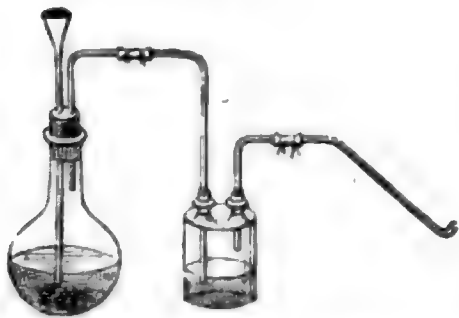
I.



Glasglocke über brennenden Alkohol oder Phosphor, und hat man die Glocke durch Wasser abgesperrt (s. beistehende Figur), so tritt das Wasser, in dem Maße der Sauerstoff verzehrt wird, in die Glocke ein und füllt ein Fünftheil derselben an. Besonders in diesem Falle ist der Stickstoff nicht ganz rein, da er außer Sauerstoff noch Kohlensäure, von der Verbrennung herrührend, oder phosphorige Säure enthält.

Chemisch reinen Stickstoff erhält man, wenn man Chlor durch eine wässrige Ammoniaklösung leitet, wozu man sich des nebenbei abgebildeten Apparates bedient.

II.



Der Kolben dient zur Chlorentwicklung, während die zweihalsige Flasche das Ammoniak enthält. Das Ammoniak (NH_3) wird durch das Chlor theilweise zersetzt. Der Stickstoff entweicht, während der Wasserstoff sich mit dem Chlor zu Salzsäure verbindet, die mit dem unzersetzten Ammoniak Salmiak bildet ($4\text{NH}_3 + 3\text{Cl} = 3(\text{NH}_3 + \text{ClH}) + \text{N}$). Bei dieser Operation muß man aber stets dafür sorgen, daß Ammoniak in Ueberschuß vorhanden

ist, denn sonst bildet sich, sobald alles Ammoniak in Salmiak verwandelt ist, der nun auch vom Chlor zersetzt wird, Chlornstickstoff, eine Verbindung, die leicht durch eine Explosion gefährlich werden kann. Ohne Gefahr kann man große Mengen von chemisch reinem Stickstoff durch Erhitzen von salpetrigsaurem Ammoniak in einer Retorte entwickeln; dieses zerlegt sich dabei in Stickstoff und Wasser ($\text{NH}_3, \text{HO} + \text{NO}^3 = 4\text{HO} + 2\text{N}$). Man hat gerade nicht nöthig, reines salpetersaures Ammoniak hierbei zu verwenden. Es genügt, Chilisalpeter (salpetersaures Natron) zu glühen, bis er stark alkalisch reagirt, um das dadurch entstandene salpetrigsaure Natron aufzulösen. Verlegt man die Lösung mit Salmiak, so entsteht salpetrigsaures Ammoniak, das beim Kochen der Lösung zerlegt wird. Du m o u l i n schlägt zur Bereitung von Stickstoff vor, 100 Vol. Luft, aus der die Kohlensäure durch Kali entfernt ist, mit 42 Vol. Wasserstoff zu mischen und dann über Platinschwamm zu leiten. Dadurch vereinigen sich Sauerstoff und Wasserstoff zu Wasser und Stickstoff entweicht. — Erhitzt man frisches Muskelfleisch mit schwacher Salpetersäure, so entweicht gleichfalls Stickstoff mit Stickstofforyd gemengt, das durch Schütteln mit Eisenvitriollösung entfernt wird.

Der Stickstoff ist ein farb-, geruch- und geschmackloses Gas, das man bis jetzt noch nicht in den flüssigen Zustand hat überführen können. Das Gas löst sich

nur wenig in Wasser und zwar in einem geringeren Maasse als Sauerstoffgas. Spec. Gew. = 0,9713. Besonders bemerkenswerth ist das Stickstoffgas durch seine Indifferenz gegen andere Körper; es vereinigt sich nicht direct mit irgend einem anderen Elemente, selbst nicht bei höherer Temperatur. Nur im Augenblick des Freiwerdens vereinigt sich der Stickstoff mit anderen Elementen. Ueberhaupt unterscheidet sich das Stickstoffgas von den übrigen Elementen mehr durch negative als positive Eigenschaften. Es theilt mit der Kohlensäure die Eigenschaften, nicht brennbar zu sein und die Verbrennung nicht zu unterhalten; eine Verwechslung beider Gase kann jedoch nicht stattfinden, da die Kohlensäure Kalkwasser trübt. — In organischen Verbindungen erkennt man die Gegenwart des Stickstoffs, falls nur einigermaßen bedeutende Mengen von Stickstoff darin vorhanden sind, wenn sie beim Verbrennen oder starken Erhitzen den bekannten Geruch gesengter Haare oder Federn verbreiten. Viel empfindlicher ist jedoch die von *Lassaigne* angegebene Probe. Man erhitzt die Substanz mit einem Stückchen Kalium in einem kleinen Proberöhrchen; ist Stickstoff zugegen, so bildet sich Cyankalium. Dieses zieht man mit Wasser aus, setzt Eisenoxydlösung hinzu und dann Salzsäure in Ueberschuß. Eine blaue Färbung oder ein Niederschlag zeigt dann die Gegenwart des Stickstoffs an. Wie der Stickstoff quantitativ in gemischten Substanzen bestimmt wird, ist bereits Bd. I. S. 171 mitgetheilt. Wir wollen hier nur noch auf die von *Hurtz* veröffentlichte Methode aufmerksam machen *).

Da sich der Verbrauch des Guano von Jahr zu Jahr immer mehr steigert und damit auch die Verfälschungen, welche den Werth desselben verringern, so ist eine Prüfung beim Einkauf unerläßlich. Bekanntlich giebt der Stickstoffgehalt den Maßstab für den Werth des Guano ab. Eine Methode diesen Gehalt sicher und leicht zu ermitteln, war daher von großer Wichtigkeit. Die einfachste hat bisher *Wöhler* vorgeschlagen **). Sie gründet sich auf das Verhalten der Ammoniaksalze zu Chlorkalklösung; erstere entwickeln hier ihren Stickstoff gasförmig. Statt aber das Gas aufzusammeln und zu messen, hat *Wöhler* zweckmäßig empfohlen, das Volumen des Wassers zu messen, welches durch das sich entwickelnde Gas verdrängt wird. Der einfache Apparat, der hierbei in Anwendung kommt, besteht aus einer Flasche, die ungefähr $\frac{1}{2}$ Pfd. Wasser faßt, versehen mit einer zweimal rechtwinklich gebogenen Glasröhre. Der eine etwas kürzere Schenkel der Röhre wird luftdicht durch einen in den Hals der Flasche passenden Kork gesteckt und unten aufwärts gebogen, um hierdurch das Entweichen von Gasbläschen zu verhindern. Er reicht bis nahe an den Boden der Flasche. Durch den Kork wird nun noch eine zweite und kurze Röhre gesteckt, die nur dazu dient, der beim Einstecken des Korks verdrängten Luft einen Ausweg zu geben. Der zweite etwas längere Schenkel der ersten Röhre taucht in einen schmalen Cylinder, der in Cubiccentimeter getheilt ist. Die Flasche wird halb mit frisch bereiteter, concentrirter, etwas feinen Kalk enthaltender Chlorkalklösung gefüllt und in dem abgeschnittenen Ende eines Problercylinders, in das man, damit es senkrecht schwimmend bleibt, einige Schrotkörner gelegt hat, 20 Gran Guano abgewogen. Vermittelt eines Eisendrahtes wird es in die Chlorkalklösung gesenkt, so daß es darauf schwimmt, der Kork mit den beiden Röhren luftdicht aufgesetzt, die Mündung der kleinen

*) *Pogg. Ann.* Bd. LXXXV. S. 263.

**) *Prakt. Uebungen in der chem. Analyse.* Göttingen 1853. pag. 173.

Röhre mit Wachs verschlossen und die Flasche bewegt, so daß das Guanogefäß umfällt und untersinkt. Es fließt dann in den graduirten Cylinder dem Volumen nach eben so viel Flüssigkeit aus, als sich aus dem Guano Stickstoff entwickelt. Hat die Entwicklung aufgehört, so läßt man die noch die Glasröhre erfüllende Flüssigkeit zu der im Cylinder fließen und liest dann die Maasstheile ab. 100 C. C. Stickstoff, entsprechend 100 C. C. Flüssigkeit im Cylinder, wiegen 2,003 Gran und diese bilden mit 300 C. C. Wasserstoffgas, welche 0,425 Gran wiegen, 2,428 Gran Ammoniak.

Nach Scheibler *) hat sich aber die Voraussetzung Wöhler's, daß entweder aller Stickstoff im Guano als Ammoniak vorhanden sei oder daß auch die anderen Stickstoffverbindungen ebenso zerlegt werden, nicht bestätigt. Er hat daher eine andere Untersuchungsmethode für den Guano angegeben, die leicht von jedem Landwirth ausgeführt werden kann. Die abgewogene Menge Guano, die man stets aus einer größeren, innig gemengten Probe nimmt, mischt man mit dem 10 bis 12fachen Gewicht zweifach chromsaurem Kali, das kurz vorher geschmolzen worden, und bringt das Ganze mittelst eines langen Trichters in eine kleine Retorte. Mit dieser verbindet man eine Uförmig gebogene Vorlage, die zu $\frac{1}{3}$ mit Kalilauge gefüllt ist, und letztere wieder mit einer Flasche, wie sie Wöhler angegeben hat. Erhitzt man nun die Retorte, so werden die entweichende Kohlensäure und Wasserdämpfe in der Vorlage zurückgehalten, während das Stickgas in die Flasche gelangt und hieraus Wasser verdrängt.

Trotz seiner Indifferenz zu dem Sauerstoff verbindet sich der Stickstoff doch in 5 verschiedenen Verhältnissen mit demselben:

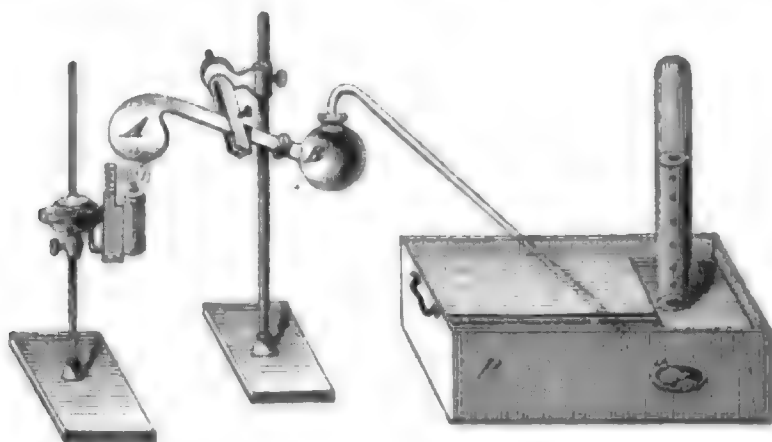
Stickstoffoxydul (NO)	enthält auf 14 Gew. Th. Stickstoff	8 Gew. Th. Sauerstoff,
Stickstoffoxyd (NO ²)	" " 14 " " "	16 " " "
Salpetrige Säure (NO ³)	" " 14 " " "	24 " " "
Untersalpetersäure (NO ⁴)	" " 14 " " "	32 " " "
Salpetersäure (NO ⁵)	" " 14 " " "	40 " " "

Stickstoffoxydul, Luftgas (NO) wurde 1772 von Priestley entdeckt und später von Berthollet und Davy genauer erforscht. Der Letztere beobachtete zuerst die aufregenden Wirkungen beim Einathmen dieses Gases und davon stammt auch der Name Luft- oder Wonnegas her. In Davy's Untersuchungsjournal aus dem Jahre 1798 finden sich bereits die Spuren der viel später eingeführten Betäubungsmethoden bei chirurgischen Operationen. Es heißt hier: „das Stickstoffoxydulgas scheint, außer anderen Eigenschaften, auch die zu besitzen, den Schmerz aufzuheben. Man würde es wahrscheinlich mit Vortheil bei chirurgischen Operationen anwenden können, die nicht mit einem zu großen Blutverlust verbunden sind.“ Zu dieser Anwendung kam es aber nicht, da Proust, Bauquelin, Orfila und Thénard behaupteten, daß der Rausch und die Aufregung, die das Einathmen des Gases hervorbringt, sehr oft von bedenklichen Folgen begleitet seien, während sich Davy stets sehr wohl nach dem Einathmen des Gases befand. Und dennoch war das Stickstoffoxydulgas in der That der Vorläufer des Aether und Chloroform, die in unseren Tagen so oft zur Anwendung gekommen sind. Es fiel nämlich 1844 einem Zahnarzt in Boston ein, Davy's Angaben zu berich-

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXV. S. 230.

tigen. Er machte den Versuch an sich selbst und ließ sich einen Zahn andreißen, ohne den geringsten Schmerz zu fühlen.

Am besten stellt man das Gas durch Erhitzen von salpetersaurem Ammoniak in einer Retorte (s. beistehende Figur) dar. Bei 170°C . fängt das Salz an zu



sieden und zerlegt sich hierbei in Stickstoffoxydul und Wasser ($\text{NH}^3, \text{HO} + \text{NO}^3 = 4\text{HO} + 2\text{NO}$). Da hierbei eine bedeutende Menge an Wärme frei wird, so muß man sehr vorsichtig heizen, denn sonst kann leicht eine Explosion entstehen oder man erhält nur Stickstoff. — Beim Auflösen von Zink und verdünnter Salpetersäure soll sich gleichfalls reines Stickstoffoxydulgas entwickeln. Auch kann man das Stickstoffoxydulgas durch Schwefelleber, schwefligsaure Salze, angefeuchtete Eisenfeile zu Stickstoffoxydul reduciren. — Nach Smith erhält man auch Stickstoffoxydul durch Erhitzen von Salmiak mit Salpetersäure. 2 Grm. Salmiak und $\frac{1}{2}$ Unze Salpetersäure entwickelten beim Erwärmen 1008 Kub.-Cent. Stickstoffoxydul. Um das hierbei mit auftretende Chlor zu entfernen, läßt man das Gas durch eine Waschflasche gehen. Das Gas ist farblos und besitzt einen schwachen angenehmen Geruch. Es unterhält die Verbrennung eben so lebhaft wie reines Sauerstoffgas, doch läßt es sich von diesem sehr leicht dadurch unterscheiden, daß, wenn man es mit Stickstoffoxydulgas mischt, keine rothen Dämpfe von salpetriger Säure entstehen. Nach Saussure lösen 100 Kub.-Zoll Wasser 76 Kub.-Zoll von diesem Gase auf. Das Wasser besitzt dann zwar einen süßen Geschmack, aber nicht die berauschende Eigenschaft. Spec. Gew. = 1,5248. Mit Sauerstoff verbindet sich das Gas nicht direct. Mit Wasserstoffgas gemischt und angezündet, verbrennt es zu Wasser, während der Stickstoff frei wird. Dasselbe geschieht, wenn man das Gasgemisch über Platinschwamm leitet; mit einem Ueberschuß von Wasserstoffgas bildet sich hierbei auch Ammoniak. Durch Hitze und Elektricität wird es in Sauerstoff, Stickstoff und salpetrige Säure zerlegt; durch Kalium wird demselben der Sauerstoff entzogen. Unter einem Druck von 50 Atmosphären wird das Gas zu einer farblosen, sehr beweglichen Flüssigkeit condensirt, die, auf die Haut gebracht, diese verlegt gleich einem sehr heißen Körper. An der Luft verflüchtigt sich das flüssige Stickstoffoxydul sehr schnell und bewirkt dadurch eine so bedeutende Kälte, daß Quecksilber gefriert und ein Theil des Stickstoffoxyduls selbst erstarrt.

Stickstoffoxyd (NO^2) wurde gleichfalls 1772 von Priestley entdeckt, obgleich schon van Helmont und nach ihm verschiedene Andere auf das Gas

aufmerksam wurden, welches sich bei der Einwirkung der Salpetersäure auf Metalle entwickelt. Am leichtesten stellt man dieses Gas dar, wenn man Stücke von Kupferblech mit Salpetersäure übergießt. Das Kupfer oxydirt sich auf Kosten der Salpetersäure; einem Theil der letzteren wird Sauerstoff entzogen, so daß sie gasförmig als Stickstoffoxyd entweicht; das Kupferoxyd verbindet sich mit der unzersetzten Säure ($4\text{NO}^5 + 3\text{Cu} = \text{NO}^2 + 3\text{CuO}, \text{NO}^5$). Oder man erhitzt salpetersaures Kali (Salpeter) mit einer Auflösung von Eisenchlorür in Salzsäure ($6\text{FeCl} + \text{KO}, \text{NO}^5 + 4\text{Cl} = \text{NO}^2 + 3(\text{FeCl}^3) + \text{KCl} + 4\text{HO}$).

Das Stickstoffoxyd ist ein farbloses Gas, das man bis jetzt noch nicht in die flüssige Form hat überführen können. Spec. Gew. = 1,039. Es ist nicht fähig, das Athmen zu unterhalten; viele brennende Körper erlöschen darin, obgleich das Gas mehr Sauerstoff enthält als das Stickstoffoxydul; ein Beweis, daß im ersteren der Sauerstoff inniger mit dem Stickstoff verbunden ist. Kohle und Phosphor, vorher entzündet, verbrennen im Stickstoffoxydgase mit großer Lebhaftigkeit. Ebenso wird diesem Gase durch einige leicht oxydirbare Substanzen, wie schon angeführt, ein Theil des Sauerstoffs entzogen; durch Kalium aber ganz und ebenso wenn man das Gas über glühende Metalle leitet. Es ist weniger leicht in Wasser löslich als das Stickstoffoxydul. Auf Lackmustrinctur übt es keine Wirkung aus. Die bemerkenswerthe Eigenschaft des Stickstoffoxydes ist die große Verwandtschaft zum Sauerstoff; sobald es mit Luft in Berührung kommt, nimmt das Gas eine rothe Farbe an, indem es sich in salpetrige Säure verwandelt. Diese Eigenschaft benutzte schon Priestley, um die Güte der atmosphärischen Luft zu prüfen, doch zeigte sich später, daß zu einer Analyse der Luft das Gas nicht mit Vortheil benutzt werden könne, da sich das Stickstoffoxyd in verschiedenen Verhältnissen mit dem Sauerstoff verbindet. Welsoni hat darauf hingewiesen, daß das Stickstoffoxydgas, wegen seiner großen Begierde, den Sauerstoff der Luft an sich zu ziehen, gewiß demaleinst eine große Rolle spielen werde bei der Aufbewahrung von organischen Substanzen, die leicht dem Verderben unterworfen sind.

Durch eine Auflösung von schwefelsaurem Eisenoxydul wird das Stickstoffoxydgas in einem bedeutenden Maasse absorhirt; die Flüssigkeit färbt sich dadurch sehr dunkel, fast schwarz. Dadurch kann man das Stickstoffoxydgas von anderen Gasen trennen. Beim Erhitzen der Eisenvitriollösung entweicht das Stickstoffoxydgas vollständig; dessenungeachtet aber wird es durch verschiedene Fällungsmittel mit dem Eisenoxydul vereint niedergeschlagen. Durch das Verhalten gegen die Luft und gegen Eisenvitriollösung ist das Stickstoffoxydgas leicht zu erkennen. Die Salpetersäure absorhirt zwar noch Stickstoffoxydgas, aber nicht ohne Zersetzung. Erstere färbt sich, je nach dem Zustande der Concentration, braun, gelb, grün oder blau und enthält dann salpetrige Säure und Untersalpetersäure oder salpetersaures Stickstoffoxyd. Mit der Schwefelsäure, Phosphorsäure und anderen Säuren geht das Stickstoffoxyd gleichfalls Verbindungen ein.

Die salpetrige Säure (NO^3) ist sehr schwierig rein zu erhalten. Wenn man ein Gemisch von 4 Vol. Stickstoffoxyd und 1 Vol. Sauerstoff durch ein Uförmiges Rohr leitet, das durch eine Kältemischung bei -30° erhalten wird, so verdichtet sich das Gasgemisch zu einer klaren Flüssigkeit, die stets mit Untersalpetersäure verunreinigt ist. Mischt man Untersalpetersäure, die man als salpetrige Salpetersäure ($\text{NO}^5 + \text{NO}^3$) betrachten kann, gleichfalls bei Anwendung einer Kältemischung, mit einer Menge Wasser, durch welche die Salpetersäure in Hydrat

($\text{NO}^3 + 4\text{HO}$) verwandelt wird, so trennt sich die Flüssigkeit in 2 Schichten. Die untere blaue Schicht ist dann salpetrige Säure, die obere grüne eine Lösung von salpetriger Säure in dem Salpetersäure-Hydrat. Eine Trennung der ersteren ist nicht gut möglich, obgleich die salpetrige Säure schon bei 0° kocht, da sie sich sehr leicht in Stickstoffoxydgas und Untersalpetersäure zerlegt. Nur dadurch kann sich bei einer Erwärmung bis zu $+28^\circ$ ein wenig salpetrige Säure in einer stark erkälten Vorlage ansammeln, daß das Stickstoffoxydgas bei seinem Entweichen salpetrige Säure mitfortreißt. — Leitet man durch Salpetersäure, die etwas mehr als 5 Aeq. Wasser enthält, Stickstoffoxydgas, so bekommt man gleichfalls eine blaue Flüssigkeit, die bei der Infiltration eine geringe Menge salpetriger Säure giebt. Letztere entsteht auch bei der Einwirkung von Salpetersäure auf organische Substanzen (Stärke), doch ist sie hier stets mit Untersalpetersäure gemischt. Bei den im Winter 1848/49 in Petersburg im Großen angestellten Versuchen der Beleuchtung mittelst galvanischer Batterien lieferten dieselben eine große Menge Salpetersäure, die bei dem Gebrauch eine tiefblaue Farbe angenommen hatte. Frischke erhielt daraus durch Rectification, indem er die entweichenden Gase durch Vorlagen, die mit einer Kältemischung umgeben waren, leitete, eine beträchtliche Menge von reiner salpetriger Säure von tief indigoblauer Farbe.

Auf eine eigenthümliche Bildungsweise der salpetrigen Säure hat Schönbein aufmerksam gemacht *). Bringt man mit wässerigem Ammoniak benetzten Platinmohr in Sauerstoffgas oder atmosphärische Luft, so reicht eine Minute schon aus, um salpetrigsaures Ammoniak zu bilden, dessen Menge mit der Zeit sich vermehrt. Dichtes Platin wirkt bei gewöhnlicher Temperatur nicht merklich auf Sauerstoff und Ammoniak ein. Unter Mithülfe der Wärme erhält man jedoch mittelst Platindraht augenblicklich merkliche Mengen von salpetrigsaurem Ammoniak in weißlichen Nebeln. Eisen- und Kupferdrähte bringen bei stärkerer Hitze eine ähnliche Wirkung hervor. Fein zertheiltes Kupfer, mit Ammoniak benetzt, verwandelt letzteres schon bei gewöhnlicher Temperatur in salpetrigsaures Ammoniak. Die letzte Beobachtung ist auch von Tuttle gemacht **).

Bekannter als die Säure selbst, sind die Verbindungen derselben mit Basen, die salpetrigsauren Salze. Den Ausgangspunkt für die Darstellung derselben bildet das salpetersaure Kali und Natron. Erhitzt man diese vorsichtig, so entweicht nur Sauerstoff, so daß sich aus der Salpetersäure salpetrige Säure bildet. Man hört mit Glühen auf, sobald eine Probe mit einer Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd einen bräunlichen Niederschlag, ein Gemenge von salpetrigsaurem Silberoxyd und Silberoxyd, hervorbringt. Durch Ausziehen mit Alkohol kann man das salpetrigsaure Salz von dem noch unzersehten Salpeter trennen. Die salpetrigsauren Salze krystallisiren meistens sehr gut und sind, mit Ausnahme des Silbersalzes, in Wasser auflöslich. Die Lösungen sind aber nicht beständig; sie nehmen Sauerstoff auf und verwandeln sich in salpetersaure Salze. Auch beim Kochen zerfallen sie in Salpetersäure und Stickstoffoxyd ($3\text{KO}, \text{NO}^3 = \text{KO}, \text{NO}^3 + 2\text{KO} + 2\text{NO}^2$). Beim Glühen geht Sauerstoff und Stickstoff fort. Durch Säuren wird die salpetrige Säure ausgetrieben und entweicht in rothen Dämpfen; dadurch kann man die salpetrigsauren Salze leicht von den salpetersauren unterscheiden. Ebenso unter-

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXX. S. 129.

**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. CI. S. 283.

scheiden sie sich von diesen durch das Verhalten gegen salpetersaures Silberoxyd und schwefelsaures Eisenoxydul. Ersteres bewirkt in den Lösungen der salpetrigsauren Salze einen weißen Niederschlag. Die neutralen salpetrigsauren Salze bringen sofort in der Eisenvitriollösung die tief dunkelschwarzbraune Färbung wie das Stickstoffoxydgas hervor, während bei den salpetersauren Salzen erst ein Zusatz von concentrirter Schwefelsäure erforderlich ist. Nach Schäffer *) kann man in Auflösungen noch wenigstens $\frac{1}{600000}$ der salpetrigsauren Salze auf folgende Art erkennen. Man versetzt die Flüssigkeit mit 1 oder 2 Tropfen einer Auflösung von Ferrocyankalium, wodurch aber die Flüssigkeit nicht merklich gefärbt werden darf, und dann Essigsäure hinzu. Je nach dem Gehalt an salpetrigsauren Salzen entsteht unmittelbar oder nach einigen Minuten eine gelbe Färbung. Daß von Brice **) vorgeschlagene Reagens (Jodkalium, Stärkekleister und verdünnte Salzsäure), wodurch man noch $\frac{1}{50000000}$ der salpetrigsauren Salze erkennen sollte, giebt zweifelhafte Resultate, da auch bei Abwesenheit der salpetrigen Säure wegen der leichten Zersetzbarkeit des Jodkaliums und des daraus frei werdenden Jodwasserstoffs die Reaction eintreten kann.

In neuerer Zeit macht man die Ansicht geltend, daß die salpetrige Säure nur ein Gemenge von Untersalpetersäure und Stickstoffoxyd ($\text{NO}^1 + \text{NO}^2$) sei. Dann wären die salpetrigsauren Salze Verbindungen von Superoxyd (MO^2) mit Stickstoffoxyd und in der That giebt Pleisuperoxyd mit Stickstoffoxyd und Wasser geschüttelt eine Lösung, die sich ganz wie salpetrigsaures Pleioxyd verhält.

Die Untersalpetersäure, salpetrige Salpetersäure (NO^1) ist ebenfalls nur unvollständig erforscht. Sie bildet sich stets in Form von rothen Dämpfen, wenn Stickstoffgas zu Sauerstoff in Ueberschuß tritt; ist ersteres überschüssig vorhanden, so bildet sich stets salpetrige Säure. Erhitzt man die rothe rauchende Salpetersäure vorsichtig und hält man die Vorlage hinreichend kühl, so kann man daraus eine ziemliche Menge Untersalpetersäure gewinnen. Die beste Bereitungsweise ist die, daß man wasserfreies salpetersaures Pleioxyd in einer Porzellanretorte erhitzt. Es entweichen Untersalpetersäure und Sauerstoff. Die erstere condensirt sich in einer stark abgekühlten Vorlage zu einer farblosen Flüssigkeit, die sich aber bei zunehmender Temperatur bald gelb und später orange färbt. Spec. Gew. = 1,42. Bei -20° verwandelt sich die Untersalpetersäure in farblose Krystalle, die bei -9° schmelzen. Bei $+28^\circ$ kocht die Untersalpetersäure und entweicht in pomeranzengelben Dämpfen. Durch Vermischen mit Wasser zerfällt sie in salpetrige Säure und Salpetersäure, wobei eine beträchtliche Menge von rothen Dämpfen entweicht. Je nach dem geringeren oder größeren Wasserzusatze nimmt die Säure eine verschiedene Farbe an (braun, gelb, grün, blau und farblos bei einer sehr großen Menge Wasser).

Mit Basen bildet die Untersalpetersäure keine eigenen Salze; es bilden sich hier salpetrigsaure und salpetersaure Salze. Deshalb ist man geneigt, die Untersalpetersäure nicht als eigenthümliche Säure, sondern als eine Verbindung der salpetrigen Säure mit Salpetersäure ($\text{NO}^1 + \text{NO}^3$) anzusehen. Schönbein hält sie für eine Verbindung von Stickstoffoxyd mit Ozon.

Boudet hat vorgeschlagen, eine Auflösung von 1 Th. Untersalpetersäure

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXX. S. 337.

**) Ebend. S. 338.

in 3 Th. Salpetersäure zur Erkennung der Verfälschungen des Olivenöls zu benutzen. Diese Mischung verwandelt nämlich das doppelte Gewicht Olivenöl binnen 70 Minuten in eine feste Masse; ist das Öl mit anderen vermischt, so verzögert sich das Erstarren.

Von allen Verbindungen des Stickstoffs mit Sauerstoff ist die Salpetersäure (*Acidum nitricum*, *Acide nitrique*, *Acide azotique*, NO_5), im gewöhnlichen Leben Scheidewasser genannt, die wichtigste. Sie war bereits dem arabischen Chemiker Geber (im 9. Jahrhundert) bekannt, aber ihre Zusammensetzung wurde zuerst 1785 von Cavendish ermittelt. Mit Bienen verbunden kommt sie in der Natur in reichlichen Ablagerungen vor. Die Bedingungen ihrer Entstehung sind bereits beim salpetersauren Kali (Bd. IV. S. 204) erörtert. Im Gewitterregen findet sich stets salpetersaures Ammoniak; die Salpetersäure entsteht hier aus dem Stickstoff und Sauerstoff der Luft unter Mitwirkung des Wassers und des Blitzes. Auf ähnliche Weise können wir auch, wie bereits Cavendish gezeigt hat, Stickstoff und Sauerstoff bei Gegenwart von Feuchtigkeit direct durch den elektrischen Funken zu Salpetersäure verbinden. Auf die Gegenwart der Salpetersäure im Regen hat zuerst Bergmann aufmerksam gemacht. Nach den neuesten Untersuchungen kann man wohl annehmen, daß in jedem Regen Salpetersäure vorhanden ist. Zwar hat Liebig in 77 Proben Regenwasser nur in 10 Proben nach stürmischem Regen Salpetersäure nachgewiesen, aber Boncesones und namentlich Barruel überall. Nach Legteren ist der Regen nie gleichmäßig mit Salpetersäure beladen. Im Minimum fallen bei Paris mit dem Regen auf die Hectare Land jährlich 31 Kilogramm Stickstoff und davon kommen 9 auf Ammoniak und 22 auf die Salpetersäure. Berechnen wir diese Angaben auf deutsche Verhältnisse, so erhalten wir für den preussischen Morgen 61 Pfd. Salpetersäure. Cloch hat ferner gezeigt, daß sich bei Gegenwart poröser Substanzen so wie der Alkalien, selbst bei Abwesenheit aller ammoniak- oder stickstoffhaltigen Substanzen der Stickstoff und Sauerstoff der Luft direct zu Salpetersäure verbinden. Die Entstehung der Salpetersäure unter diesen Verhältnissen soll durch das Ozon bedingt werden.

Salpetersäure bildet sich gleichfalls unter verschiedenen anderen Umständen aus Verbindungen, die Stickstoff enthalten; so z. B. wenn man ein Gemisch von Ammoniak oder Cyan und Luft bei 300°C. über Platinschwamm oder über glühendes Mangansuperoxyd leitet. Nach Boncesones verwandeln sich verschiedene Ammoniaksalze, so wie Harnstoff beim Durchgange in den Organismus in Salpetersäure. Letztere entsteht auch, wenn Stickstoffoxyd mit Wasser und Sauerstoff oder salpetrige Säure und Untersalpetersäure mit Wasser zusammen kommen. Schüttelt man ammoniakhaltige Luft mit Kalkmilch, so entsteht salpetersaurer Kalk. Bringt man eine Schicht lufthaltiges Terpentinöl über Ammoniak flüssigkeit, so wird mit der Zeit das Ammoniak theilweise in Salpetersäure umgewandelt. Im wasserfreien Zustande ist die Salpetersäure erst in neuerer Zeit durch Deville *) dargestellt worden und zwar durch Zersetzung von salpetersaurem Silberoxyd durch trocknes Chlorgas bei einer Temperatur von 50 bis 60°C. Die wasserfreie Salpetersäure bildet große farblose Krystalle (rhombische Prismen), die bei 30° schmelzen. Die Flüssigkeit siedet dann bei $45 - 50^\circ$, wobei sie sich

*) *Annal. de Chim. et de Phys.* [3] T. XXVIII. pag. 241.

theilweise in Sauerstoff und Untersalpetersäure zerlegt. Mit der Zeit scheinen sich die Krystalle unter Explosion zu zerlegen. Mit Wasser zusammengebracht, erhigen sie sich stark, lösen sich aber ohne Gasentwicklung auf. Durch trocknes Ammoniakgas werden sie aber sehr rasch zerlegt; es erscheinen hierbei rothe Dämpfe, während sich ein weißes Salz bildet.

Die gewöhnliche Salpetersäure ist also stets eine Verbindung der Säure mit Wasser. Sie wird bereitet durch Zerlegung des salpetersauren Kalis oder Natrons mittelst Schwefelsäure; da die Salpetersäure flüchtiger ist als die Schwefelsäure, so wird sie ausgetrieben und destillirt über. Nimmt man hierbei nur so viel Schwefelsäure als zur Zerlegung erforderlich ist, also ein Aequivalent, so erhält man neben der Salpetersäure auch Untersalpetersäure. Es bildet sich nämlich saures schwefelsaures Kali, so daß also die Hälfte des Salpeters unzerlegt bleibt; aus dieser wird die Salpetersäure erst bei einer höheren Temperatur, in der sie sich in Sauerstoff und Untersalpetersäure zerlegt, ausgetrieben. Die Untersalpetersäure löst sich in der bereits übergegangenen Säure auf. Diese Säure nennt man rothe, rauchende Salpetersäure (*Acidum nitricum fumans*). Wie der Name schon andeutet, besitzt diese Säure eine gelbe oder gelbrothe Farbe und stößt an der Luft rothbraune Dämpfe aus. Specif. Gewicht = 1,552. Sie gefriert bei -49° zu einer rothbraunen Masse. Benutzt man bei der Darstellung salpetersaures Natron, so geht die vollständige Zerlegung desselben durch 1 Aeq. Schwefelsäure bei einer niedrigeren Temperatur vor sich, bei der nicht so bedeutende Mengen von Salpetersäure zerlegt werden. In diesem Fall ist die Salpetersäure viel weniger gefärbt. Wendet man statt der englischen Schwefelsäure rauchendes Vitriolöl an, so erhält man selbst bei 2 Aeq. des letzteren eine stark durch Untersalpetersäure verunreinigte Salpetersäure. Der Grund ist hier der, daß in dem Vitriolöl nicht hinreichend Wasser vorhanden ist, um mit der Säure des Salpeters das Hydrat (NO^5HO) und gleichzeitig saures schwefelsaures Kali ($\text{KO}, \text{HO} = 2\text{SO}^3$) zu bilden. Die wasserfreie Salpetersäure zerfällt daher in Sauerstoff und Untersalpetersäure. Will man die Säure farblos erhalten, so entfernt man die Untersalpetersäure entweder durch Erwärmen oder man zerlegt sie durch Wasser. Etwas Salpetersäure bleibt in der Regel zurück und davon rührt der eigenthümliche Geruch der im Handel vorkommenden Salpetersäure her.

Eine farblose Säure erhält man, wenn man 2 Aeq. Schwefelsäure zur Zerlegung des Salpeters anwendet; also auf 100 Th. salpetersaures Kali 97 Th. Schwefelsäure oder auf 100 Th. salpetersaures Natron 116 Th. Schwefelsäure. Im letzteren Falle muß man jedoch die Schwefelsäure noch mit $\frac{1}{4}$ Wasser verdünnen, um bei der Destillation das Uebersteigen und die Zerlegung der Salpetersäure zu vermeiden, weil das saure schwefelsaure Natron 3 Aeq. Wasser bindet. Je nachdem man eine stärkere oder schwächere Schwefelsäure anwendet oder je nach der Menge Wasser, in die man die Dämpfe der Salpetersäure leitet, erhält man eine mehr oder weniger concentrirte Salpetersäure (doppeltes oder einfaches Scheidewasser). Als eine bestimmte Verbindung der Salpetersäure mit Wasser kann man das gewöhnliche Scheidewasser nicht ansehen, deren existiren aber verschiedene. Das erste Hydrat ($\text{NO}^5 + \text{HO}$ oder mit 14,29 Th. Wasser in 100 Th.) wird erhalten, wenn man eine sehr concentrirte Salpetersäure (von 1,448 specif. Gewicht) mit 5 Th. Schwefelsäure bei gelinder Wärme destillirt. Letztere hält das überschüssige Wasser zurück; mitunter sind wiederholte Destillationen mit Schwefelsäure nöthig;

was hierbei unter 90° C. übergeht, ist als das erste Hydrat anzusehen. Es enthält stets Schwefelsäure und Untersalpetersäure; erstere wird durch Rectification für sich oder über etwas getrockneten Salpeter entfernt, letztere durch Bleisuperoxyd oder durch Erwärmen, während man einen Strom trockner Kohlensäure hindurch leitet. Das erste Hydrat ist eine farblose Flüssigkeit, die bei 86° C. siedet, aber nicht ohne Zersetzung destillirt werden kann. Durch das Sonnenlicht wird sie zersetzt; der Sauerstoff entweicht und die Säure färbt sich gelb. Specif. Gewicht 1,52 — 1,55. Sie gefriert bei -55° . Sie stößt starke, weiße Dämpfe aus und zieht begierig die Feuchtigkeit der Luft an. Beim Mischen mit Wasser entwickelt sich sehr viel Wärme (bis zu 60°). Leitet man sie durch ein glühendes Porzellanrohr, so zerfällt sie in Sauerstoff und Untersalpetersäure, bei stärkerer Hitze in Sauerstoff und Stickstoff.

Das zweite Hydrat ($\text{NO}^3 + 2 \text{HO}$, mit 25 Th. Wasser) erhält man bei der Rectification der gewöhnlichen Salpetersäure. Es geht bei 125° C. über. Specif. Gewicht 1,484. Das dritte Hydrat ($\text{NO}^3 + 4 \text{HO}$) enthält 40 Th. Wasser. Es geht bei 125 bis 128° C. über. Alle schwächeren und stärkeren Säuren werden durch Kochen in dieses Hydrat verwandelt, die ersteren indem sie Wasser, die letzteren indem sie Säure abgeben. Specif. Gew. 1,419. Nach Milton kann die schwächere Säure nur bis zu einem specif. Gew. von 1,405 concentrirt werden. Diese steht er als das vierte Hydrat ($\text{NO}^3 + 9 \text{HO}$) an. Der Wassergehalt beläuft sich demnach auf 48,86 Proc. Nach Mitscherlich und Frischke ist das fünfte Hydrat ($\text{NO}^3 + 5 \text{HO}$ mit 45,45 Proc. Wasser) die beständige Verbindung. Man erhält sie direct durch Destillation von 100 Salpeter, 97 Schwefelsäure und 40,5 Wasser.

Interessant sind die Versuche, welche Ramon de Luna angestellt hat *), um das natürliche Bittersalz, das in mehreren Provinzen Spaniens in bedeutenden Mengen vorkommt, zur Vereitung verschiedener Fabrikate anzuwenden, die man bisher mit Hülfe der Schwefelsäure verfertigte. So lieferten 200 Grm. calcinirtes salpetersaures Natron mit 400 Grm. krystallisirtem Bittersalz 90 Grm. Salpetersäure von 1,38 specif. Gewicht. Durch Destillation dieser Säure erhält man farblose Salpetersäure von 1,482 specif. Gewicht.

Die Salpetersäure des Handels ist von veränderlicher Stärke; den Gehalt derselben an wirklicher Säure kann man indessen sehr leicht durch das specif. Gewicht bestimmen. Zu diesem Ende hat Ure eine Tabelle entworfen, welche angiebt, wie viel wasserfreie Säure die Salpetersäure des Handels bei dem gefundenen specif. Gewicht enthält. Doch muß man sich vorher überzeugen, daß das specif. Gewicht nicht betrügerischer Weise durch einen Zusatz von Salpeter erhöht worden ist. Man verdampft eine kleine Menge Säure vollständig und darf hierbei kein Rückstand bleiben.

*) Compt. rend. T. XLI. p. 95.

Specif. Gew.	Wasserfreie Säure in 100 Th.	Specif. Gew.	Wasserfreie Säure in 100 Th.	Specif. Gew.	Wasserfreie Säure in 100 Th.	Specif. Gew.	Wasserfreie Säure in 100 Th.
1,300	79,7	1,411	58,2	1,270	36,7	1,134	19,1
1,496	78,1	1,406	57,4	1,264	35,9	1,129	18,3
1,491	76,5	1,402	56,6	1,258	35,1	1,117	16,7
1,485	74,9	1,394	55,0	1,252	34,3	1,111	15,9
1,479	73,3	1,383	53,4	1,246	33,5	1,105	15,1
1,476	72,5	1,378	52,6	1,240	32,7	1,099	14,3
1,470	70,9	1,373	51,8	1,234	31,9	1,088	12,7
1,464	69,3	1,363	50,2	1,221	30,3	1,076	11,2
1,460	68,5	1,353	48,6	1,215	29,5	1,071	10,4
1,453	66,9	1,343	47,0	1,208	28,7	1,065	9,6
1,450	66,1	1,332	45,4	1,202	27,9	1,059	8,8
1,446	65,3	1,322	43,8	1,196	27,1	1,048	7,2
1,439	63,8	1,311	42,2	1,189	26,3	1,037	5,6
1,435	63,0	1,306	41,4	1,177	24,7	1,027	4,0
1,431	62,2	1,300	40,6	1,165	23,1	1,021	3,2
1,427	61,4	1,295	39,8	1,153	21,5	1,016	2,4
1,419	59,8	1,283	38,3	1,146	20,7	1,011	1,6
1,415	59,0	1,276	37,5	1,140	19,9	1,005	0,8

Die Salpetersäure des Handels ist nie rein; sie enthält stets Schwefelsäure, und da das salpetersaure Kali und Natron stets Chlor enthalten, so geht auch dieses in das Destillat über. Häufig ist die unreine Säure zu verwenden; ist aber eine reine Säure erforderlich, so kann diese durch Rectification über etwas Salpeter und Braunstein aus der unreinen Säure erhalten werden. Bei gelinder Wärme geht das Chlor mit etwas Säure zuerst über. Man wechselt also die Vorlage, sobald die übergehende Säure nicht mehr durch salpetersaures Silberoxyd getrübt wird. Oder man entfernt auf diese Art das Chlor und rectificirt dann die Säure über Salpeter. Eine ganz reine Säure darf sich beim Verdünnen mit Wasser nicht trüben, eben so wenig durch Zusatz von Chlorbaryum und salpetersaurem Silberoxyd. Salpetrige Säure zeigt sich schon durch die gelbe Farbe an oder durch einen Niederschlag von Schwefel, wenn man Schwefelwasserstoffgas hindurch leitet.

Die Salpetersäure ist eine der stärksten Säuren und wirkt daher außerordentlich ägend. Da sie sehr leicht den Sauerstoff abgibt, so ist sie ein sehr wirksames Oxydationsmittel; doch kommt es hier sehr auf die Stärke der Säure an. Je stärker die Säure ist, um so leichter giebt sie den Sauerstoff ab; in einigen Fällen jedoch zeigt sich gerade die concentrirte Säure unwirksam, während eine verdünnte sehr energisch wirkt, so z. B. beim Eisen, Zinn und Blei. Fast alle Nichtmetalle zerlegen die Salpetersäure; Wasserstoff bildet mit derselben Wasser, während Stickstoff entweicht; Schwefel, Phosphor, Kohle, Jod werden dadurch zu Schwefel-, Phosphor-, Kohlen- und Jodsäure oxydirt, während Stickstoffoxydgas entweicht. Auf rothglühende Kohlen gegossen, bewirkt sie eine sehr lebhafteste Verbrennung derselben. Fast alle Metalle werden durch die Salpetersäure oxydirt, indem Stickstoffoxydgas entweicht. Besonders kräftig ist die Wirkung, sobald die Säure salpetrige Säure oder Untersalpetersäure enthält. Sehr energisch wirkt die Salpetersäure auf organische Substanzen. Viele, wie z. B. Stärke, Gummi,

Zucker werden in Oxalsäure, Zuckersäure und Schleimsäure, andere, wie z. B. Harze, Seide, Indigo in Pikrin- und Oxypikrinsäure verwandelt. Einige thierische Substanzen, wie z. B. die Haut, die Nägel, die Wolle etc., werden durch Salpetersäure dauernd gelb gefärbt, diese Reaction benutzt man in der Färberei. Sehr concentrirte Säure wirkt auf gewisse organische Substanzen, z. B. Holzfaser, Stärke etc., wenn sie nur kurze Zeit damit in Berührung bleibt, auf eine eigenthümliche Weise. Durch einen Theil des Wasserstoffs wird die Salpetersäure zu Untersalpetersäure reducirt und diese tritt an die Stelle des Wasserstoffs in die organische Verbindung ein. Taucht man z. B. Papier nur eine Minute lang in sehr concentrirte Salpetersäure und wäscht es dann mit Wasser ab, so ist es etwas aufgequollen und fast so zähe wie Pergament. Nach dem Trocknen ist es sehr entzündlich. Durch ähnliche Behandlung der Baumwolle erhält man die bekannte Schießbaumwolle. Je nach der Stärke der Säure und der Zeit, welche die Baumwolle darin verweilt, erhält man sehr verschiedene Producte. Deshalb ist auch die Zusammensetzung der Schießbaumwolle so verschieden angegeben. Desgleichen zeigte es sich bei der Vereitung des Collodium, daß manche Schießbaumwolle sich sehr gut in Aether löste, während andere gar nicht davon angegriffen wurde. Um die Ursachen dieser Differenzen zu finden, hat Hubow *) eine Untersuchung angestellt. Am vortheilhaftesten zeigte sich ein Gemenge von 1 Aeq. NO^3 , $\text{HO} + 2$ Aeq. SO^3 , HO . Dieses wurde nach und nach mit 1 bis 5 Aeq. Wasser gemischt und dann waren die Resultate folgende:

100 Theile Baumwolle lieferten				
durch NO^3 , $\text{HO} + 2$ SO^3 , $\text{HO} +$	HO	177	Th. Schießbaumwolle	{ unlöslich in Aether + $\frac{1}{8}$ Alkohol.
" " " " " + 2 HO	176	"	"	
" " " " " + 3 HO	171,7	"	"	{ leicht löslich in Aether mit $\frac{1}{8}$ Alkohol.
" " " " " + 4 HO	157	"	"	
" " " " " + 5 HO	140	"	"	

Schon bei $3\frac{1}{3}$ und $3\frac{2}{3}$ Aeq. Wasser wurden aus 100 Th. Baumwolle 166,4 und 160,5 Th. Schießbaumwolle erhalten, die sich vollständig in der Aethermischung auflöste. Die Mischung, mit 3 Aeq. Wasser auf 54° erwärmt, lieferte gleichfalls auflöslliche Schießbaumwolle. Die beste Mischung zur Darstellung der letzteren ist 103,9 Th. Schwefelsäure von 1,833 specif. Gewicht und 708,5 Th. Salpetersäure von 1,424 specif. Gewicht. Vor dem Eintragen der Baumwolle wird sie auf 54° C. erwärmt. Je geringer der Wasserzusatz war, um so lebhafter und leichter explodirte die Schießbaumwolle. In der Baumwolle, die am lebhaftesten explodirte, waren 3 Aequiv. Wasserstoff durch Untersalpetersäure ersetzt.

Die Salpetersäure findet für sich vielfache Verwendung. So verbraucht z. B. Frankreich allein jährlich 90000 Ctr. Sie ist das vorzüglichste Auflösungsmittel für die Metalle und Oxide; noch kräftiger wirkt sie, wenn sie mit Salzsäure versetzt ist (Königswasser). Sie dient zur Trennung des Silbers vom Golde, daher der Name Scheidewasser, doch muß die Menge des Silbers in der Legirung wenigstens 4 Mal so groß sein als die des Goldes, wenn die Scheidung

*) Quart. Journ. of the chem. Soc. Vol. VII. p. 200.

vollständig erfolgen soll. Man benutzt die Salpetersäure ferner zum Ätzen in Kupfer, Stahl und Stein, in der Färberei und in Krankenhäusern zum Räuchern, um ansteckende Stoffe zu zerstören. Man entwickelt im letzteren Falle die Säure direct durch Erwärmen eines Gemisches von Salpeter und Schwefelsäure. Man zieht in vielen Fällen diese Räucherung der mit Chlor vor, weil die Dämpfe der Salpetersäure nicht so nachtheilig auf die Athmungswerkzeuge einwirken wie Chlor. — In Fabriken, wo durch den häufigen Gebrauch von Salpetersäure viel Stickstoffoxyd nutzlos entweicht, kann man nach Osbornot *) mit diesem Gase wieder Salpetersäure gewinnen, wenn man dasselbe mit Luft und Wasserdampf zugleich durch Steingutröhren leitet, die mit Bimsstein gefüllt sind. Das Stickstoffoxydgas oxydirt sich zuerst zu Untersalpetersäure und diese zerfällt mit Wasser wieder in Stickstoffoxyd und Salpetersäure. Mit den Basen bildet die Salpetersäure eine große Reihe von Salzen, die ihrer vielfachen Verwendung wegen von großem Interesse sind. Die neutralen Nitrate, in denen sich der Sauerstoff der Base zu dem der Säure wie 1 : 5 verhält, sind alle in Wasser löslich; einige krystallisiren wasserfrei, andere nicht. Die basischen Salze hingegen sind nicht alle in Wasser löslich. Sie werden sämmtlich in der Wärme zerlegt, aber auf verschiedene Art; entweder in salpetrigsaure Salze und Sauerstoff, und Metalloxyd, in Untersalpetersäure und Sauerstoff oder in Metall, Stickstoffoxyd und Sauerstoff.

Die Salpetersäure erkennt man sehr leicht durch ihr Verhalten gegen stickstoffhaltige thierische Substanzen und Metalle. Erstere (Wolle, Nägel etc.) werden dadurch gelb gefärbt; kommt die Salpetersäure mit letzteren, namentlich mit Kupfer, zusammen, so werden sie unter Entwicklung von rothen Dämpfen aufgelöst. Die salpetersauren Salze erkennt man daran, daß sie auf glühende Kohlen gestreut lebhaft verpuffen; oder man bringt sie mit einem Stückchen Kupfer in einem Proberöhrchen zusammen und gießt einige Tropfen Schwefelsäure darauf. Die Salpetersäure wird dadurch frei und greift das Kupfer an; dadurch entwickelt sich Stickstoffoxydgas, welches an der Luft rothe Dämpfe von salpetriger Säure bildet. In Flüssigkeiten entdeckt man die Salpetersäure durch verdünnte Indigolösung. Bei Zusatz von einigen Tropfen Schwefelsäure wird die Indigolösung durch die freigemachte Salpetersäure entfärbt. Setzt man zu einer Flüssigkeit, die salpetersaure Salze enthält, ein gleiches Volumen concentrirte Schwefelsäure und gießt man dann vorsichtig eine Eisenvitriollösung darauf, so daß diese als besondere Schicht über der Flüssigkeit stehen bleibt, so entsteht an der Berührungsfläche, je nach der vorhandenen Menge der Salpetersäure, eine dunkelschwarzbraune, purpur- oder rosenrothe Färbung. Auf diese Art kann man noch $\frac{1}{24000}$ Salpetersäure erkennen. In eine sehr verdünnte Auflösung bringt man am besten einen Krystall von Eisenvitriol und dann tritt die Färbung deutlich in der nächsten Umgebung desselben auf. Diese Reaction ist eine Folge des hierbei auftretenden Stickstoffoxydes; die Salpetersäure giebt einen Theil ihres Sauerstoffs an das Eisenoxydul ab, das sich in Eisenoxyd verwandelt. Die von Davy **) vorgeschlagene Prüfungsmethode, die darauf beruht, daß die Salpetersäure selbst in geringer Menge auf Kaliumeisencyanür einwirkend daraus doch beträchtliche Mengen

*) Chem. Centralbl. 1830. S. 862.

**) Phil. Mag. 1833. Vol. V. p. 313.

von Nitroprussidverbindungen erzeugt, ist wohl nicht empfindlicher als die eben beschriebene Methode.

Die quantitative Bestimmung der Salpetersäure ist von vielen Schwierigkeiten begleitet, da sie nicht einfach wie die anderen Säuren mit irgend einer Base verbunden unlöslich abgeschieden werden kann. Ist keine andere Säure zugegen, so versetzt man die Flüssigkeit mit Barytwasser bis zur alkalischen Reaction und entfernt den überschüssigen Baryt durch Kohlensäure. Das Filtrat wird zur Trockne eingedampft, in Wasser gelöst, dann die Lösung filtrirt und dann daraus der Baryt durch Schwefelsäure gefällt. Aus dem schwefelsauren Baryt berechnet man dann die Menge der Salpetersäure. Besonders schwierig ist die Bestimmung der Salpetersäure bei Gegenwart organischer Substanzen und gerade hier ist sie für die Entscheidung mehrerer wichtiger Fragen, z. B. Bildung und Zersetzung der Salpetersäure unter natürlichen Einflüssen, Gehalt derselben in den Bodenarten, Düngern, Pflanzen, Wässern aller Art, der Rolle, welche diese Säure bei der Vegetation spielt, ob die grünen Blätter die Eigenschaft besitzen, sie zu zersetzen, um den Stickstoff daraus in organische Verbindungen überzuführen u., von großer Bedeutung. In diesen Fällen ist die von Sch lö s i n g angegebene Methode *) in Anwendung zu bringen.

Mit dem Wasserstoff verbindet sich der Stickstoff gleichfalls in verschiedenen Verhältnissen zu Imid (NH), Amid (NH^2), Ammoniak (NH^3) und Ammonium (NH^4). Die beiden ersteren sind noch nicht isolirt dargestellt worden; sie werden nur in einigen unorganischen und in vielen organischen Verbindungen als existirend angenommen. Die beiden letzteren sind bereits Bd. I. S. 145 und 150 besprochen worden.

Mit dem Kohlenstoff bildet der Stickstoff das Cyan (C^2N), s. Bd. IV. S. 315.

Leitet man trockenes Ammoniakgas durch Schwefelchlorür (S Cl^2), so nimmt letzteres 2 At. des ersteren auf. Bringt man diese Verbindung ($2\text{NH}^3, \text{S Cl}^2$) in Wasser, so zerlegt sie sich in Salzsäure und Schwefelammonium, die sich im Wasser auflösen, und in Schwefel und Schwefelstickstoff, die sich ausscheiden. Letzterer wird durch Aether vom freien Schwefel getrennt und bildet dann ein gelbes Pulver (NS^2), das sich mit der Zeit langsam zersetzt, schnell erhitzt aber mit Explosion. Durch Wasser wird es gleichfalls zersetzt. — Chlorphosphor (P Cl^3) nimmt gleichfalls Ammoniakgas auf. Erhitzt man diese Verbindung, so bleibt ein weißer Rückstand von Phosphorstickstoff (P N^2), der selbst Rothglühbize aushält, ohne zu schmelzen oder flüchtig zu werden. Er ist unlöslich in Wasser und fast allen Säuren.

Chlorstickstoff (N Cl^3) wird erhalten, wenn man Chlor durch eine Auflösung von Salmiak oder irgend eines anderen Ammoniaksalzes leitet ($\text{NH}^3, \text{Cl H} + 6\text{Cl} = 4\text{Cl} + \text{N Cl}^3$). Zunächst färbt sich die Flüssigkeit gelb, bald aber sondern sich gelbe, ölarartige Tropfen ab, die zu Boden sinken. Deren Bildung wird durch eine Temperatur von $+25$ bis 30° sehr begünstigt. Spec. Gew. 1,653. Diese Verbindung ist höchst gefährlich, da sie sich oft von selbst mit einer außerordentlich heftigen Explosion zersetzt; eben so bei der leisesten Berührung mit gewissen Kör-

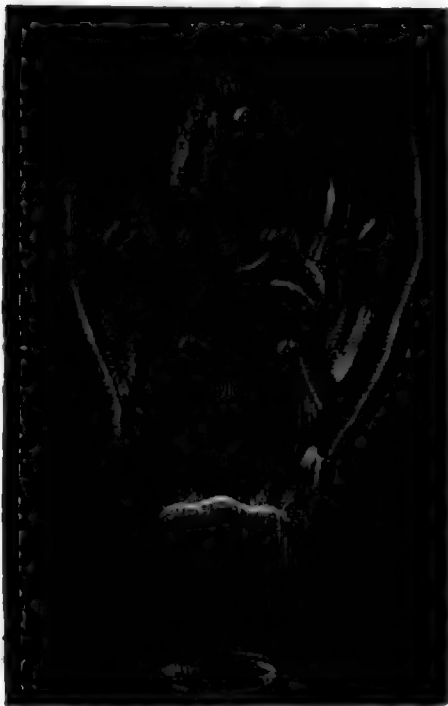
*) Annal. de Chim. et de Phys. [3] T. XI. p. 479. Journ. für prakt. Chemie. Bd. LXII. S. 142.

vern (Phosphor, Terpentinöl u.) oder beim Erwärmen. Ueber die entsprechende Jodverbindung s. Bd. IV. S. 123.

Erhitzt man eine Mischung von 1 Th. trockenem Borax mit 2 Th. Ammoniak; bis zur Rothgluth, so erhält man nach dem Ausziehen mit Salzsäure Vorstickstoff (Bo N), eine sehr beständige Verbindung.

Die Verbindungen des Stickstoffs mit den Metallen sind, sofern sie einige Wichtigkeit besitzen, bei den einzelnen Metallen abgehandelt. W. V.

Stimme. Das Organ der menschlichen Stimme ist der Kehlkopf, welcher aus vier Knorpeln besteht. Diese Knorpel sind der Ringknorpel (cartilago cricoidea), der Schildknorpel (cartilago thyroidea) und die beiden Gießkannenknorpel (cartilagines arytenoideae). Der Kehlkopf liegt am oberen Ende der Luftröhre, welche mit der Lunge communicirt und in der Form eines cylindrischen Kanals von knorpeligen Ringen gebildet wird, die durch biegsame, häutige Ringe mit einander verbunden sind. Die innere Wand des Kehlkopfes endigt sich oben in zwei Häute, die man Stimmbänder nennt. Dieselben lassen eine schmale Spalte, die Stimmritze (glottis) zwischen sich, und können mehr oder weniger angespannt werden, da sie mit den erwähnten Knorpeln in Verbindung stehen, welche durch zugehörige Muskeln einander genähert und von einander entfernt werden können, wobei denn auch die Stimmritze größer oder kleiner wird. Ueber den Lippen der Stimmritze liegen die sogenannten ventriculi Morgagni, zwei sackartige Höhlungen, von denen die eine auf der rechten, die andere auf der linken Seite der Stimmritze liegt, und deren obere Ränder gewissermaßen eine zweite Stimmritze bilden. Darüber befindet sich ein platter, beinahe dreieckiger Knorpel, der Kehldeckel (epiglottis), welcher nach vorn mit einer Seite angewachsen ist. Derselbe kann die Stimmritze bedecken, so daß Speisen und Getränke verhindert werden, in die Luftröhre zu kommen. Die nebenstehende Figur zeigt den Kehlkopf von oben. e ist der Ringknorpel, t der Schildknorpel, a und a' sind die beiden Gießkannenknorpel. Die Stimmbänder sind zwischen dem Ringknorpel und den Gießkannenknorpeln ausgespannt; darüber sieht man die ventriculi Morgagni mit den sogenannten oberen Stimmbändern. Der Kehldeckel e erscheint in der Figur ausgerichtet.



Es ist schon seit langem erfahrungsmäßig festgestellt, daß die Stimme in der Stimmritze gebildet wird. Hat die Luftröhre unterhalb des Kehlkopfes eine Oeffnung, so hört die Stimme auf, was nicht der Fall ist, wenn eine Oeffnung oberhalb der Stimmritze vorhanden ist. Magendie kannte einen Mann, welcher eine Oeffnung in der Luftröhre unter dem Kehlkopfe hatte

und deßhalb eine Binde mit einer Klappe trug, um diese stets zu verschließen, damit er reden konnte *). Auch hat Magendie dargethan, daß die Stimme

*) Biot, Traité de Phys. T. II. p. 193.

noch besteht, wenn die oberen Stimmbänder und der Kehlschloß verlegt sind; und seine Versuche an Hunden lehrten, daß die unteren Stimmbänder so lange schwingen, als die erzeugten Töne dauern.

Die bewegende Ursache ist hier der aus den Lungen kommende Luftstrom, welcher beim gewöhnlichen Ausathmen durch die Stimmrinne geht, ohne einen Laut hervorzubringen; beim stärkeren Ausstoßen der Luft entsteht, wie beim Husten, ein Schall, werden aber die Stimmbänder durch Anblasen (von Seiten der Lunge aus) und auch durch die Thätigkeit der betreffenden Muskeln dergestalt gespannt, daß sie in regelmäßige Schwingungen gerathen, so entsteht ein Ton. Die Untersuchungen über den Ursprung der menschlichen Stimme bezogen sich vorzugsweise auf die Frage, welchem musikalischen Instrumente das Stimmorgan hauptsächlich zu vergleichen sei. Nach einer Ansicht wurde es im Wesentlichen als ein Blasinstrument betrachtet *), indem man auf Grund gewisser Versuche annehmen zu können glaubte, daß eine Veränderung in der Höhe und Tiefe der Töne nur durch die Verengerung und Erweiterung der Stimmrinne, nicht aber durch die Spannung der Stimmbänder bewirkt werde. Savart verglich das Stimmorgan einer Labialpfeife mit tönender Luftsäule. Ferrein **) verglich dagegen die Stimmbänder mit Saiten, welche von der Luft angesprochen werden, und hielt demgemäß das Stimmorgan im Wesentlichen für ein Saiteninstrument. Derselbe fand, daß die Töne der Stimmbänder bei verschiedener Weite der Stimmrinne keineswegs verändert werden. Doch läßt sich diese Analogie des Stimmorgans mit einem Saiteninstrumente, obgleich sie in manchen Punkten durchaus richtig ist, nicht ganz streng durchführen. Wohl aber unterliegt es keinem Zweifel, daß die menschliche Stimme im Kehlkopfe auf ganz ähnliche Weise zu Stande kommt wie der Ton in einer membranösen Zungenpfeife. Die Luftröhre läßt sich hierbei als Windrohr, und der Schlund mit dem Mund als Ansatzrohr betrachten. Biot und Gagniard de la Tour ***) suchten, um die Analogie zwischen dem Stimmorgan und einer Zungenpfeife zu vervollständigen, die Stimmbänder durch elastische Membranen von Kautschuk zu ersetzen, indem sie dieselben über eine Röhre spannten. In ähnlicher Weise machte der Physiolog Joh. Müller ****) zahlreiche Versuche mit membranösen Zungen. Man spannt über die eine Hälfte eines kurzen Rohres einen Streifen von Kautschuk, während man die andere Hälfte mit einer festen Platte so bedeckt, daß zwischen der letzteren und dem Streifen nur eine feine Spalte bleibt; oder man überzieht auch die zweite Hälfte der Röhre, zum Behufe der Bildung einer feinen Spalte, wie die erste mit einem Kautschukstreifen. Am einfachsten stellt man eine membranöse Zungenpfeife her, wenn man an das eine Ende einer Glasröhre eine kurze Kautschukröhre befestigt (s. beistehende Figur). Das andere Ende der Röhre nimmt man in den Mund, während man mit den Fingern die Seiten der Kautschukröhre dergestalt anspannt, daß sich die beiden Ränder berühren. Bläst



*) Vergl. Eiskovius Theorie der Stimme. Leipzig 1814

**) Mém. de l'Acad. d. sc. 1741. p. 409.

***) S. auch L'Institut. 1843. No. 482.

****) Handbuch der Physiologie des Menschen Bd. II. S. 149 ff. — Ueber die Compensation der physischen Kräfte am menschlichen Stimmorgan. Berlin 1839.

man in die Röhre, so erhält man Töne, welche mit der Stärke des Anblasens und mit der Spannung der Membran an Höhe zunehmen. Sodann stellte Müller auch Versuche mit ausgeschnittenen Kehlköpfen menschlicher Leichen an, und kam zu einer Reihe wichtiger Thatsachen über die Veränderung der Töne des Stimmorgans und ihre Ursachen. Er befestigte die Kehlköpfe auf schickliche Weise an einem Brettchen, indem er dieselben (mit einem Stück der Luströhre) mit der hinteren Wand auf das Brettchen legte, den Ringknorpel darauf festband und eben so auch die Gießkannenknorpel daran befestigte. Durch den unteren Theil der letzteren wurde aber sehr vorsichtig ein Psfrien quer hindurch gesteckt, auf dem sie dann neben einander fixirt waren und ihnen jede Stellung gegen einander gegeben werden konnte. Den Stimmbändern ließ sich eine verschiedene Spannung geben, was dadurch geschah, daß man an den Schildknorpel eine Schnur anheftete und diese durch Gewichte spannte, wodurch denn auch dieser Knorpel angezogen wurde. Müller leitete die Schnur über eine Rolle und verband mit ihr eine Waagschale; durch Einlegen von Gewichten in die letztere konnte er dann die Spannung der Stimmbänder genau meßbar verändern. Die Resultate waren folgende.

Die unteren Stimmbänder geben bei enger Stimmreihe durch Anblasen von der Luströhre aus reine und volle Töne, welche denen der menschlichen Stimme sehr nahe kommen. Bei gleicher Spannung der Stimmbänder hat aber die größere oder geringere Enge der Stimmreihe keinen wesentlichen Einfluß auf die Höhe des Tones; doch spricht der Ton bei weiter Stimmreihe schwerer an und ist auch weniger klangvoll.

Sind die Stimmbänder ungleich gespannt, so geben sie meist doch nur einen Ton, und nur in seltenen Fällen zwei Töne an. Die Stimmbänder verhalten sich hier, wie in vielen anderen Fällen, so wie die oben erwähnten Kautschukbänder. Es tritt nicht immer Compensation der verschiedenen Spannungen beider Bänder ein. Man kann am Kehlkopfe öfter eine einseitige Schwingung eines Stimmbandes bemerken, besonders dann, wenn sie nicht ganz in gleicher Ebene liegen. Die Thatsache, daß bei zwei ungleich gespannten Stimmbändern, wie bei ungleich gespannten Kautschukbändern, öfter nur das eine tönt, und daß sie in seltenen Fällen zwei Töne geben, beweist nach Müller gleichfalls, daß die Stimmbänder das Primitive beim Tonangeben sind und nicht die Luft es ist.

Durch Veränderung der Spannung in gleicher Richtung lassen sich die Töne am Kehlkopfe ungefähr im Umfange von zwei Octaven verändern; bei stärkerer Spannung entstehen unangenehme, höhere pfeifende oder schreiende Töne.

Man kann am ausgeschnittenen Kehlkopfe bei sehr schwacher Spannung der Stimmbänder zwei ganz verschiedene Register von Tönen hervorbringen; Töne, im Allgemeinen tiefer, welche mit der Bruststimme die vollkommenste Ähnlichkeit haben, andere im Allgemeinen höher und die höchsten, welche im Klang ganz der Falsettstimme gleichen. Diese verschiedenen Töne können bei einer bestimmten gleichen Spannung hervorgebracht werden. Zuweilen spricht der Ton der Bruststimme, zuweilen bei derselben Spannung derjenige der Fissetstimme an. Bei einiger Spannung der Stimmbänder sind die Töne immer vom Klange der Falsettstimme, mag man stark oder schwach blasen. Bei sehr schwacher Spannung hängt es von der Art des Blasens ab, ob der eine oder andere Ton erfolgt; der Fissetton

erfolgt leichter bei ganz schwachem Blasen. Beide Töne können ziemlich weit auseinander liegen, selbst um eine ganze Octave.

Viscovius fand, daß die Stimmbänder bei den Brusttönen schlaff, bei den Falsettönen gespannt sind. Doch läßt sich nach Müller bei einem gewissen Grade der Abspannung bei verschiedenem Anspruch sowohl ein Brustton als ein Falsetton hervorbringen, und auch bei den Brusttönen hängt die Höhe nicht von der Enge der Stimmröhre, sondern von dem größeren oder geringeren Grade von Abspannung der Bänder ab. Die Falsettöne sind aber auch keine solche Flageolet-töne wie die der Saiten, welche bei Schwingungen aliquoter Theile der Länge entstehen; die Stimmbänder können in beiden Fällen, bei dem höheren Falsetton und dem tieferen Brustton, in ganzer Länge schwingen. Der wesentliche Unterschied beider Register von Tönen besteht darin, daß bei den Falsettönen bloß die feinen Ränder der Stimmbänder, bei den Brusttönen die ganzen Stimmbänder lebhaft und mit großen Excursionen schwingen; eine Thatsache, die zuerst von Velsfeldt *) beobachtet wurde. Die tiefsten Brusttöne werden erhalten bei größter Abspannung der Stimmbänder durch Rückwärtsbewegen des Schildknorpels. Bei so großer Abspannung sind die Stimmbänder nicht allein ganz ungespannt, sondern im Zustande der Ruhe auch runzlig und faltig; aber sie werden durch das Blasen ausgedehnt und dieses gibt ihnen die zum Schwingen nöthige Tension. Indem man die Abspannung geringer werden läßt und dem Schildknorpel erlaubt sich nach vorn zu begeben, steigen die Brusttöne bis gegen eine Octave.

Bei gleicher Spannung der Stimmbänder läßt sich durch stärkeres Anblasen der Ton bis fast zu einer Quinte und mehr in die Höhe treiben.

Die Falsettöne, bei denen der innere oder Randtheil der Stimmbänder schwingt, hängen in Hinsicht der Höhe von der Spannung der Stimmbänder ab.

Der Kehldedeckel, die oberen Stimmbänder, die Morgagnischen Ventrikel, die Gaumenbogen, kurz alle vor den unteren Stimmbändern liegenden Theile sind weder zur Bildung der Brusttöne noch der Falsettöne nöthig.

Die zum Theil membranöse Beschaffenheit der Luftröhre als Windrohr wirkt nicht merklich modificirend auf den Ton der Stimmbänder.

Das doppelte Ansagrohr am menschlichen Stimmorgane, nämlich Mundrohr und Nasenrohr, scheint in Hinsicht der Höhe des Tones nicht anders als ein einfaches Ansagrohr zu wirken, verändert aber den Klang des Tones durch Resonanz.

Die Deckung der oberen Kehlkopfhöhle durch Herabdrücken des Kehldedeckels vertieft den Ton etwas und macht ihn zugleich dumpfer.

Die Morgagnischen Ventrikel haben bloß den Zweck, die Stimmbänder von außen frei zu machen, damit die Schwingungen ungehindert sind.

Nach dem Vorstehenden ist nun das menschliche Stimmorgan im Wesentlichen ein Zungenwerk mit membranösen doppelten Zungen.

Die Töne, welche das Stimmorgan hervorzubringen vermag, können in verschiedener Weise auf einander folgen. Beim Gesang ist die Folge derartig, daß jeder Ton durch eine bestimmte Schwingungszahl charakterisirt und das Verhalten der auf einander folgenden Töne durch ihr Schwingungsverhältniß im Sinne der

*) Dissert. de vocis formatione. Berol. 1835.

musikalischen Intervalle (s. Art. Ton) bestimmt ist. Der Umfang der menschlichen ist bei verschiedenen Individuen sehr ungleich, und beträgt überhaupt 1 bis 3 Octaven; doch geht derselbe selten über zwei Octaven hinaus, sofern es sich um reine und volle Töne handelt. Die männlichen und weiblichen Stimmen fangen an verschiedenen Stellen der Tonleiter an und hören an verschiedenen Stellen derselben auf. Nach Müller *) liegt der tiefste Ton der weiblichen Stimme ungefähr um eine Octave höher als der tiefste Ton der männlichen Stimme, und der höchste Ton der weiblichen Stimme etwa eine Octave höher als der höchste Ton der männlichen Stimme. Die Stimme der Catalani umfaßte drei und eine halbe Octave.

Die männliche und weibliche Stimme unterscheiden sich also durch ihre Höhe von einander, und dieser Unterschied ist bedingt durch die verschiedene Länge der Stimmbänder. Die Längen der Stimmbänder des Mannes und Weibes verhalten sich nach Müller etwa wie 3 zu 2. Sodann besteht noch ein Unterschied bezüglich des Klanges; die weibliche Stimme klingt im Allgemeinen weicher. Endlich unterscheidet man auch noch zwei Klangarten bei der männlichen und weiblichen Stimme, und zwar bei jener den Bass und Tenor, bei dieser und auch bei der Knabenstimme den Alt und Sopran. Man bezieht zwar diese Unterschiede zunächst auf die Tiefe oder Höhe der Stimme; doch liegt das Wesentliche dabei in der Eigenthümlichkeit des Klanges (timbre), welcher beim Bassisten und Tenoristen verschieden ist, wenn sie auch denselben Ton singen; und eben so verhält es sich zwischen Alt und Sopran. Durch Bariton wird mehr das Unentschiedene zwischen beiden Klangarten der Männerstimmen, durch Mezzo Soprano das Unentschiedene zwischen beiden Klangarten der Weiberstimmen bezeichnet.

Der jedem Menschen eigene besondere Klang der Stimme hängt nach Müller offenbar von der Form der Luftwege und der Membrana und ihrer Resonanz ab. Bei dem sogenannten Nasenton wird die Nasenhöhle durch Erhebung des Kehlkopfes und Verengung der Gaumenbogen zu einer resonirenden Kammer.

Im Alter verliert die Stimme an Klang durch Ossification (Verknöcherung) der Kehlkopfknorpel und Veränderung der Stimmbänder, an Sicherheit durch Abnahme der Nerventhätigkeit oder ihrer sicheren Wirkung auf die Muskeln, was eine zitternde Bewegung zur Folge hat.

Die Töne des Pfeifens mit dem Munde entstehen durch Luftschwingungen, auf deren Natur sowohl die Veränderung der Mundhöhle durch die Lage der Zunge als auch die Größe der Lippenöffnung und die Stärke des Blasens (bei gleicher Oeffnung und Lage der Zunge) von Einfluß sind. Munde **) äußerte die Ansicht, daß die Ränder oder Oberflächen der Lippenöffnung in Schwingungen gerathen, woraus auch die Bedingung erklärlich werde, daß die Lippenhäute nicht bloß sein, sondern auch feucht sein müssen, wenn überhaupt ein Ton und insbesondere ein wohlklingender entstehen soll. Auch glaubt er bemerkt zu haben, daß diejenigen Lippen zum Pfeifen am meisten geeignet sind, die beim Spitzen des Mundes zu diesem Zwecke gegen einander gerichtete, conisch zugespitzte Hervorragungen bilden, die einige Ähnlichkeit mit der Stimmrinne hätten. Den Ton des Flötens begünstige dann ferner die Dicke der Lippen, zwischen welchen von der

*) Physiologie. Bd. II. S. 212.

**) Gehler's phys. Wörterb. Bd. VIII. S. 383; Bd. XI. S. 538.

Öffnung aus sich eine Höhlung bilde, welche als das untere offene Ende einer conischen Pfeife anzusehen sei, die zur Erzeugung der Töne mit beitrage. — Nach Cagniard la Tour *) ist das Tönende (beim Pfeifen mit dem Munde) die Luft, welche sich an den Wänden der Lippenöffnung reibt. Zur Erzeugung von Tönen durch Reiben ist aber erforderlich, daß das letztere intermittirend sei. Die Luft bringt nach ihm auch dann einen Ton durch Reibung hervor, wenn sie durch die enge Spalte eines harten Körpers geht, wo die Ränder des harten Körpers nicht als Lippen eines Zungenwerkes betrachtet werden könnten. Wenn man nach Cagniard la Tour eine in der Mitte durchlöchernte Korkscheibe zwischen die Lippen nimmt, so sollen noch dieselben Töne wie beim gewöhnlichen Pfeifen mit dem Munde entstehen. Müller **) hält die Theorie von La Tour im Ganzen für richtig; glaubt dabei jedoch auf den Einfluß der Mundhöhle und die Analogie mit einer Labialpfeife mehr Rücksicht nehmen zu müssen, als von C. la Tour geschehen ist.

Zu den Tönen, welche auf die oben angezeigte Weise im Kehlkopfe gebildet werden, gesellen sich noch zahlreiche Geräusche oder Laute, die durch die Bewegung der Zunge und Lippen unter dem Einfluß der Mund- und Nasenhöhle, des Gaumens und der Zähne bedingt sind. Eine Eintheilung der Sprachlaute, namentlich der Consonanten, in Rücksicht ihrer physiologischen Entstehung hat Ehrladni ***) gegeben; und dann auch Müller ****). Gewöhnlich betrachtet man die Consonanten als bloße Geräusche, die Vocale (Selbstlauter) dagegen als durch das Stimmorgan ursprünglich gegebene, im Munde aber modificirte Laute. Nach Müller ist jedoch der Unterschied der Vocale von den Consonanten viel geringer, insofern sich nämlich alle Vocale auch stumm, als bloße Geräusche, wie die Consonanten angeben und als Geräusche deutlich unterscheiden lassen, wie es beim leisen tonlosen Sprechen der Fall ist; so daß demnach die lauten Vocale bloß durch Mittönen der Stimme entstehen. Allein auch eine ganze Klasse von Consonanten läßt sich sowohl stumm als bloßes Geräusch, als auch unter Mittönen der Stimme angeben. Nach Müller *****) kommt man auf zwei Reihen von Lauten; die Glieder der einen sind nur stumm und der Verbindung mit der Stimme ganz unfähig, die Glieder der anderen Reihe können zwar stumm angegeben werden, sind aber auch der Verbindung mit der Stimme fähig. Eine andere Unterscheidung der Laute hängt davon ab, ob sie bei plötzlich sich ändernder Mundstellung nur einen Moment angegeben werden können und also keiner Verlängerung, so weit der Athem reicht, fähig sind (*strepitus incontinuuus, explosivus*), oder ob sie bei unveränderter Stellung der Mundtheile, so lange der Athem reicht, verlängert werden können (*strepitus continuus*).

Alle zur ersten Art gehörigen Geräusche sind keiner gleichzeitigen Verbindung mit Stimmton (Intonation) fähig, während alle Consonanten der zweiten Art mit Intonation verbunden werden können. — Die stummen Consonanten entstehen durch verschiedene Modificationen der Mund- und Nasenhöhle, durch welche die ausgeathmete Luft hindurchströmt. Die erste Ursache der stummen Vo-

*) Magendie, Journ. de Physiol. T. X.

**) Physiologie. Bd. II. S. 220.

***). Gilb. Ann. Bd. XVI. S. 196.

****) Physiologie. Bd. II. S. 229 ff.

*****) a. a. D. S. 230.

case liegt jedoch nicht im Munde, sondern in der Stimmröhre; das Geräusch zur Bildung eines stummen Vocals scheint nach Müller beim Vorbeiströmen der Luft an den nichttönenden Stimmbändern selbst zu entstehen.

Bezüglich des sogenannten Bauchredens s. d. Art. Bauchredner.

Man hat sich bemüht, die Töne der menschlichen Stimme und auch Sprachlaute künstlich durch besondere Mechanismen hervorzubringen. Hierher gehört die Sprachmaschine von Kempelen *), in welcher zur Hervorbringung der Töne Zungenpfeifen benutzt wurden. Später suchte auch Robert Willis **) die Töne der menschlichen Stimme, so wie auch die Selbst- und Mitsprache durch Zungenpfeifen nachzubilden. Neuerdings hat aber ein Künstler aus Wien, Namens Haber, eine Sprachmaschine, nämlich eine singende und sprechende Figur, verfertigt, welche alle früheren bei weitem übertrifft ***). Dieselbe hat einen Mund mit Lippen und Zunge von Kautschuk, der dem menschlichen nachgebildet ist, eine Claviatur von 16 Tasten für die Vocale, Halbvocale und einige Consonanten nebst zwei Hülfsstücken für die übrigen Consonanten, von denen die eine die Nase, die andere die Stimmröhre schließt. Die Stimmröhre ist aus Kautschukbändern gebildet, und die Lunge vertritt ein Blasebalg, welcher den zum Ansprechen der Stimmbänder nöthigen Luftstrom liefert. Die Stimmbänder haben eine ähnliche Stellung zu einander wie im menschlichen Kehlkopf.

Zum Behufe der Erzeugung der Vocale und Consonanten kann bald die vordere, bald die hintere Oeffnung mehr oder weniger geöffnet und geschlossen werden. Einzelne Buchstaben und Worte werden vernehmlich, auch in verschiedenen Sprachen gesprochen, und da die Höhe und Tiefe der Töne geändert werden kann, so findet auch eine Art von Gesang statt. Diese Maschine soll endlich sowohl heimlich als laut sprechen und mit dem Gesange auch die Sprache verbinden können. —

Schließlich noch die Bemerkung, daß die Säugethiere, wie auch die Amphibien, ein Stimmorgan haben, das mit dem des Menschen wenigstens im Wesentlichen übereinkommt. Verschiedene Gattungen dieser Klassen zeigen indessen mancherlei Besonderheiten. So haben die Affen eigenthümliche resonirende Theile an ihrem Stimmorgan, wie z. B. der Pavian, Mandrill, Orang-Utang einen häutigen Sack unter dem Zungenbeine. Der männliche Frosch besitzt häutige Säcke am Halse, welche beim Schwingen der Stimmbänder nach außen treten und zur Verstärkung des Tones beitragen.

Das Stimmorgan der Vögel ****) befindet sich am unteren Theile der Luftröhre; daher kann man schreienden Vögeln, wie der Elster, Ente u., die Luftröhre durchschneiden, ohne daß sie deshalb am Schreien ganz verhindert werden. Am oberen Ende der Luftröhre zeigt sich bei den Vögeln eine Spalte, welche zwar keinen Ton zu erzeugen vermag, aber sich doch erweitern und verengern läßt, so

*) Mechanismus der menschlichen Sprache, nebst Beschreibung einer sprechenden Maschine. Wien 1791.

**) Transact. of the Cambr. Phil. Soc. T. III. p. 231. Pogg. Ann. Bd. XXIV. S. 397.

***) Pogg. Ann. Bd. LVIII. S. 178.

****) Guvier, vergl. Anat. übers. von Meckel. Bd. IV. S. 229. Savart, Krieger's Notiz. S. 331. 332 Müller's Physiologie. Bd. II. S. 223 ff.

daß sie dem Luftströme einen mehr oder weniger freien Austritt gestatten kann. Im Allgemeinen ist die Luftröhre der Vögel biegsamer als die der Säugethiere und besonders bei den Singvögeln aus sehr feinen Ringen zusammengesetzt. Was nun die Theorie der Vogelstimme betrifft, so ist es noch keineswegs ausgemacht, ob die Töne hier nach Art einer membranösen Zungenpfeife oder vielmehr einer Labialpfeife entstehen. Müller hält das einfache Stimmorgan vieler Vögel, z. B. das der Enten, Gänse u., für eine Zungenpfeife; dagegen sei es fraglich, ob der Pfeifenton der Singvögel auch hierher gehöre, und derselbe nicht vielmehr wie beim Rundpfeifen entstehe, wenn auch die Vergleichung mit einem Zungenwerk immer noch wahrscheinlicher sei.

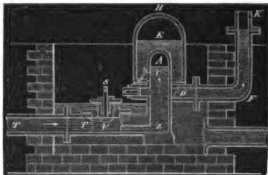
Stirnrad, s. Räderwerk.

Stöchiometrie, s. Verwandtschaft, chemische.

Stoffe, einfache, s. Einfache Körper.

Stoß, s. Bewegung.

Stoßheber oder hydraulischer Widder ist eine 1796 von Montgolfier angegebene *) Vorrichtung zur Hebung (Förderung) des Wassers. TT (s. beistehende Figur) ist eine Röhre, in welcher sich das Wasser einer Quelle oder auch eines Flusses mit einer Geschwindigkeit bewegt, die von der Höhe des Falles abhängt. S ist ein Ventil in der Öffnung V, durch welche das Wasser anfangs ausfließt; das Ventil wird aber bei der zunehmenden Geschwindigkeit des



in die Röhre strömenden Wassers von diesem gehoben, so daß es die Öffnung V fest verschließen kann. Die Dichtigkeit dieses Ventils ist doppelt so groß als die des Wassers. Ist nun das Ventil S geschlossen, so geht das Wasser durch die Leitung Z und erhebt sich in das Gefäß A, von wo es durch das Ventil (oder die Klappe) C in das große glockenförmige Gefäß, den Windkessel H gelangt. Von hier aus kommt es endlich in die Steigröhre DFK. Nun schließt sich aber das

*) Journ. des Mines. T. XIII. No. 73. Juli 1802. Vergl. Viallon, Traité d'un nouveau moyen pour élever les eaux etc. Par. 1798. Bulletin de la Soc. philom. No. VIII. p. 58.

Ventil C wieder, während sich S durch sein Gewicht wieder öffnet; bei zunehmender Strömung des Wassers in der Röhre TT' wird jedoch S wieder gehoben und bald darauf C geöffnet, womit eine neue Quantität Wasser in das Gefäß H tritt. Diese Bewegungen wiederholen sich stoßweise, und nach jedem Stoße erhebt sich das Wasser höher in der Steigröhre DFK, während die in H zusammengedrückte Luft ihrerseits zur weiteren Emporhebung des Wassers in dieser Röhre wirkt.

Im Kleinen zu physikalischen Experimenten kann man den Stoßheber ganz von Glas ausführen, wie die beistehende Figur zeigt, wo B das Wassergefäß ist,



das durch Zufluß bis zu einer gewissen Höhe stets voll erhalten werden kann. Aus diesem Gefäße fließt das Wasser durch die Röhre A, hebt hier das Ventil b und öffnet dann das in das Gefäß C führende Ventil. Das Gefäß C gleicht ganz einem Heronsball, indem die Luft in ihm durch das eindringende Wasser verdichtet wird, die dann durch ihren Gegendruck das Wasser durch die verticale Röhre in die Höhe treibt.

Das in die Leitungsröhre strömende Wasser entweicht anfänglich, wie bereits bemerkt, durch die Oeffnung b; hat es aber das Maximum seiner Geschwindigkeit erreicht, so hebt es durch seinen Stoß das Ventil bei b, so daß die hier befindliche Oeffnung plötzlich geschlossen wird. Das Wasser setzt indessen, nach dem Gesetze der Trägheit, seine Bewegung in der einmal angenommenen Richtung fort und stößt mit einer Gewalt, die dem Producte aus seiner Masse in das Quadrat seiner Geschwindigkeit proportional ist, gegen das Ventil a, welches sich nun öffnet und einem Theil der bewegten Wassermasse den Eingang in das Gefäß C gestattet. In Folge des Widerstandes jedoch, welchen das strömende Wasser erfährt, namentlich auch vermöge des Gegendruckes des im Gefäße C und in der Steigröhre befindlichen Wassers wird die Geschwindigkeit des Einstromens gehemmt und aufgehoben; das Ventil a schließt sich dann, während das Ventil b, wie man gewöhnlich annimmt, sich durch sein eigenes Gewicht wieder öffnet und das Wasser hier wieder ausfließen läßt. Jedoch nimmt man auch an *), daß die momentan zur Ruhe gekommene Wassermasse zurückschlägt und hierdurch das Oeffnen des Ventils b bewirkt. Hierauf nimmt die Geschwindigkeit des nach dem Gefäße C hinströmenden Wassers wieder zu, das Ventil b wird von Neuem geschlossen, während sich a öffnet u. s. f. Wird das strömende Wasser in dem Augenblick, wo es im Maximum seiner Geschwindigkeit gegen das Ventil stößt und dieses schließt, plötzlich in seiner Bewegung um etwas aufgehalten, so muß es auf alle Theile der Röhrenwände momentan einen Druck ausüben, welcher dem Producte aus der Masse des bewegten Wassers in das Quadrat seiner Geschwindigkeit proportional ist. Dieser Druck treibt nun auch das Wasser in das Gefäß C und zwar mit einer größeren Kraft, als die Druckhöhe allein bedingen würde. Dabei nimmt man dann wohl auch noch an, daß die Zeit des Aufsteigens (des Wassers) im Gefäße

*) Runde in Schlier's phys. Wörterb. Bd. VIII. S. 1108.

C durch die elastische Reaction aller Theile des Apparates verlängert werde. Man kann aber auch mit eben so viel Grund annehmen, daß die durch den Stoß des Wassers um etwas erweiterten und sich wieder zusammenziehenden Röhrenwände, also in Folge ihrer elastischen Reaction das Wasser im entgegengesetzten Sinne, d. h. nach dem Behälter R hin zurückdrängen, wobei sich dann eben das Ventil b wieder öffnet. Diese pendelartigen Bewegungen des Wassers scheinen auch die Versuche Chtelwein's über diesen Gegenstand zu bestätigen.

Die Wirkungsart des Stoßhebers ist von Wraf *), Chtelwein **), v. Basse ***), Langsdorf ****), Brunacci *****) und Navier †) untersucht worden.

Nach Chtelwein wird der Effect der Maschine vermindert, wenn das Gewicht des Ventils oder der Klappe bei b eine gewisse Grenze übersteigt. Man verbindet dasselbe wohl auch mit einer darüber befindlichen Feder, durch die es herabgedrückt wird. Eine zweckmäßige Einrichtung der Ventile ist von Bedeutung ††). Die Oeffnung des Ventils, welches in das Gefäß C führt, muß im Verhältniß zu der Oeffnung des Ventils bei b beträchtlich groß sein. Die Leitungsröhre muß eine angemessene Länge haben; auch hängt die Höhe, bis zu welcher man das Wasser mit Hülfe des Apparates heben kann, von dem Durchmesser der Röhre ab. Die Widerstände sind hier zum großen Theil nach den bei den Leitungsröhren überhaupt vorkommenden Widerständen zu beurtheilen. Natürlich hängt jene Höhe von der Geschwindigkeit ab, welche das Wasser in der Leitungsröhre erreichen kann, und diese Geschwindigkeit ist wieder bedingt durch die Fallhöhe.

In Frankreich und England ist der Stoßheber zur Hebung des Wassers in Gebrauch gekommen †††); in Deutschland wohl nur an sehr wenigen Orten. Montgolfier ließ zuerst eine solche Maschine zur Förderung des Wassers bei seiner Papiersfabrik zu Voiron herstellen. Dacette ††††) empfiehlt den Gebrauch des Stoßhebers wegen seiner Wohlfeilheit und leichten Anwendbarkeit, und seiner in vielen Fällen genügenden Wirkung.



Montgolfier gab noch einen anderen Stoßheber an, der mit dem vorigen auf demselben Princip beruht, aber eine etwas andere Einrichtung darbietet. Eine Heberöhre abc (s. beistehende Figur) zieht hier das Wasser

*) Gilbert's Ann. Bd. XIX. S. 83. Grundriß einer Theorie des Stoßhebers, nach Maßgabe der höheren Mechanik. 1815.

**) Bemerkungen über die Wirkungen und vortheilhafte Anwendung des Stoßhebers. Berlin 1805.

***) Gilbert's Ann. Bd. XXVI. S. 336.

****) Münchener Denkschriften für 1809 und 1810.

*****) Trattato dell' Ariete idraulico del Cavaliere Brunacci. Milano 1810. Brugnastelli Giornale. T. IV. p. 277.

†) Leçons. T. II. p. 340.

††) Langsdorf, ausführliches System der Maschinenkunde. Th. II. S. 351.

†††) Bullet. des sciences par la Soc. phil. An. VI. (1798) No. 8. p. 58. Journ. de Phys. T. XLVI. p. 143. Gilb. Ann. Bd. I. S. 361.

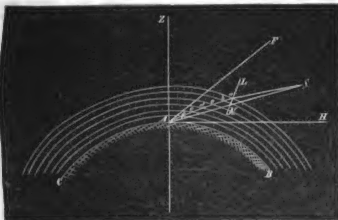
††††) Traité élém. des Machines. p. 160.

aus A nach dem tieferen Gefäße B, dabei fließt das Wasser an das Ventil g, welches sich abwechselnd schließt und hebt, wodurch auf die angezeigte Weise ein Strömen des Wassers in das höher stehende Gefäß C bewirkt wird, das man wohl auch vollständig verschließen und mit einer Stigröhre zum weiteren Emporheben des Wassers versehen kann. Diese letztere Einrichtung hat man wenigstens in Vorschlag gebracht.

Stoßmaschine, s. Bewegung.

Strahlenbrechung (Refraction), astronomische, ist die Veränderung der scheinbaren Höhe der Gestirne in Folge des Durchganges des von denselben ausgehenden Lichtes durch die Atmosphäre der Erde. In dem Art. Brechung des Lichtes (Bd. I. S. 872) ist ausführlich erläutert, daß das Licht, indem es von einem durchsichtigen Körper in einen anderen schräg übergeht, nicht in derselben geraden Linie bleibt, sondern in einer anderen fortgeht, welche mit der ersten einen bestimmten Winkel macht, so zwar, daß der im dichteren Mittel mit dem Einfallslothe gebildete Winkel der kleinere ist und die Sinus der beiden Winkel bei je zwei bestimmten Mitteln in einem bestimmten Verhältnisse stehen. Die Luftspiegelungen, welche auf demselben Hergange beruhen, sind Bd. IV. S. 736 besprochen; auch verweisen wir auf Art. Dämmerung, Bd. II. S. 1, als hierher gehörig. Was in diesen Fällen von dem Durchgange des Lichtes durch unsere Atmosphäre gilt, soll hier bei dem von den Gestirnen ausgehenden Lichte einer näheren Erläuterung unterworfen werden.

In beistehender Figur sei BAC die Erdoberfläche, umgeben von der Atmosphäre, welche wir uns in eine Anzahl concentrischer Schichten zerlegt denken, die



mit der größer werdenden Entfernung von der Erdoberfläche an Dichtigkeit abnehmen. ZA sei lothrecht auf dem Beobachtungsorte A, also Z das Zenith desselben; in S stehe ein Stern. Trifft nun einer der von S ausgehenden Lichtstrahlen die oberste Luftschicht a in schräger Richtung, so wird derselbe dem Einfallslothe aL zugebrochen, so daß also $\angle baN$ kleiner als $\angle LaS$ ist; beim Auftreffen des

Lichtstrahles ab auf der zweiten Schicht in b ändert dasselbe statt und zwar in demselben Sinne; eben so in c , d . . . und da wir die concentrischen Schichten nicht schmal genug nehmen können, also eine fortwährende, stetige Ablenkung des Lichtstrahles eintritt, so wird der Weg desselben $abcd$. . . A eine gekrümmte Linie sein, deren hohle Seite der Erdoberfläche zugewendet ist. Ein Beobachter in A versteht den Stern in die Richtung, in welcher das Auge den Eindruck erhält, also in der Richtung der Tangente bei A an der angegebenen krummen Linie, erblickt also den Stern nicht bei S, sondern in einer größeren Höhe bei F. Erleidet der Lichtstrahl, welcher von dem Sterne in das Auge des Beobachters bei A trifft, keine Ablenkung, so würde, wenn AH der Horizont für A ist, der Stern in der Höhe SAH über dem Horizonte erscheinen; jetzt aber wird er unter dem Winkel FAH gesehen, seine scheinbare Höhe ist also vergrößert. Stünde ein Stern in dem Zenith Z, so würde der zu dem Beobachter in A gelangende Lichtstrahl bei seinem Durchgange durch die Luftschichten stets senkrecht aufgefallen sein, also keine Ablenkung erlitten haben; der Ort des Sternes im Zenith hat also keine Veränderung erfahren, d. h. für ihn ist die astronomische Strahlenbrechung gleich Null. Je größer die Zenithdistanz eines Sternes wird, desto größer wird auch der Weg, welchen das Licht durch die Atmosphäre zu nehmen hat, um zu dem Beobachter in A zu gelangen (nur für einen Beobachter im Centrum der Erde würden alle Sterne im Zenith stehen und keiner Strahlenbrechung unterworfen sein); die astronomische Strahlenbrechung muß also mit der Zenithdistanz wachsen und für einen im Horizonte stehenden Stern am größten ausfallen.

Um sich von der Thatsache zu überzeugen, auch zugleich die Höhenveränderung zu bestimmen, beobachte man zwei in denselben Verticalkreise stehende, möglichst weit von einander entfernte Sterne und bestimme ihren Abstand erstens in dem Augenblicke, in welchem der niedrigere scheinbar aufgeht, und zweitens wenn sie culminiren oder wenigstens nahe im Meridiane stehen. Es ist klar, daß das Ergebniß der letzteren Messung ein ziemlich um die Refraction im Horizonte kleinerer Abstand sein wird. Will man jedoch den Betrag der astronomischen Strahlenbrechung für verschiedene Höhen genauer ermitteln, so wird man von zwei Sternen in der Nähe des Poles (Circumpolarsternen), deren untere und obere Culmination beobachtet werden kann, in dem Augenblicke dieser Culminationen die scheinbaren Zenithdistanzen bestimmen. Bezeichnet man dann mit Z und z diese scheinbaren Zenithdistanzen und mit R und r die Größe der Strahlenbrechung (Refraction) des einen dieser Sterne in der unteren (Z) und oberen (z) Culmination, eben so für den anderen mit Z', z', R' und r'; so ist $(Z + R) - (z' + r') = (Z' + R') - (z + r)$, da der wahre Abstand der beiden Sterne gleich ist, wenn der eine in der unteren, der andere in der oberen Culmination steht, folglich ist

$$(Z + z) + (R + r) = (Z' + z') + (R' + r')$$

$$\text{und } Z + z - (Z' + z') = R' + r' - (R + r),$$

d. h. der Unterschied der Strahlenbrechungen in beiden Culminationen ist bestimmt durch den Rest aus den Summen der scheinbaren Zenithdistanzen.

Nimmt man an, daß die Strahlenbrechung wie die Tangente der Zenithdistanz wächst, was ungefähr richtig sein wird, da die Strahlenbrechung eben so wie die Tangente im Zenith Null ist und beide bis zum Horizonte, wo bei beiden das Maximum eintritt, wachsen, so ist

$$\operatorname{tgs} Z : \operatorname{tgs} z = R : r \text{ und } \operatorname{tgs} Z' : \operatorname{tgs} z' = R' : r'$$

$$\operatorname{tgs} Z + \operatorname{tgs} z : R + r = \operatorname{tgs} z : r \text{ und}$$

$$\operatorname{tgs} Z' + \operatorname{tgs} z' : R' + r' = \operatorname{tgs} z' : r' = \operatorname{tgs} z : r$$

folglich: $(\operatorname{tgs} Z' + \operatorname{tgs} z') - (\operatorname{tgs} Z + \operatorname{tgs} z) : R' + r' - (R + r) = \operatorname{tgs} z : r$.

Da hier nur r unbekannt ist, so ist also diese Größe bestimmt, wenn auch nur näherungsweise. Eben so läßt sich R , R' und r' finden. Da es uns nur darauf ankommt, zunächst einen Weg anzugeben, auf welchem man die Größe der Strahlenbrechung für verschiedene Höhen ermitteln könnte, so verfolgen wir dies nicht weiter.

Ein anderer Weg, die Strahlenbrechung näherungsweise zu berechnen, gründet sich darauf, daß bei dem Durchgange eines Lichtstrahles durch eine Reihe von parallelen Ebenen begrenzter Medien die Richtung des aus dem letzten Medium austretenden Strahles dieselbe ist, als wenn derselbe unmittelbar aus dem ersten Medium in das letzte ein- und aus diesem ausgetreten wäre, also gerade so, als ob die Zwischenmedien nicht vorhanden gewesen wären. Da nun das Brechungsverhältniß für den leeren Raum und Luft von der Dichtigkeit, wie dieselbe an der Erdoberfläche ist, 1,000294 oder nahe $\frac{3400}{3399}$ beträgt, so erhält man

$$\sin \zeta = 1,000294 \sin z,$$

wo ζ die wahre und z die scheinbare Zenithdistanz bezeichnet.

So einfach hiernach die Bestimmung der astronomischen Strahlenbrechung erscheint, ist sie gleichwohl mit großen Schwierigkeiten verknüpft, wo es darauf ankommt, dieselbe ganz genau zu bestimmen. Schon der zuletzt eingeschlagene Weg weist uns auf die Störungen hin, welche nicht unbeachtet bleiben dürfen. Das Brechungsverhältniß des Lichtes aus dem leeren Raume in die Luft an der Oberfläche der Erde ist nämlich nicht unveränderlich, sondern wird durch die Dichtigkeit der Luft modificirt, ist also von dem Barometer- und Thermometerstande abhängig.

Die Aufgabe vollständig zu lösen, ist hier nicht der Ort; wir verweisen daher auf die vortreffliche Darstellung von Brünnow in: Lehrbuch der sphärischen Astronomie. Berlin 1851. S. 106 bis 141 und auf Gehler's phys. Wtb. N. B. Bd. VIII. S. 1118 bis 1145. Hauptarbeiten über den vorliegenden Gegenstand haben geliefert: Laplace, Mécanique céleste. liv. X., ferner Bessel, Fundamenta astronomiae p. 26 sqq. und in der Vorrede zu desselben Tabulae Regiomontanae. 1830. p. 59 sqq. Die Bessel'schen Refractionstabellen, welche selbst in den größten Zenithdistanzen den Beobachtungen fast vollkommen entsprechen, finden sich außer in den angeführten Tabulae Regiomontanae noch in Schumacher's Hülfstabellen und in Encke's astronomischen Jahrbüchern; vergl. auch astronomische Nachrichten Nr. 69 und Nr. 344. Beilage. In Nr. 177. S. 171 der eben angeführten astronomischen Nachrichten hat Peters Formeln zur Berechnung des Einflusses der astronomischen Strahlenbrechung auf Beobachtungen am Kreismikrometer geliefert, worauf auch Bessel's Arbeit im 1. Bande der astronomischen Untersuchungen: Königsberg 1841 Bezug hat, in welcher er die Vorschriften für die verschiedenen Arten der Mikrometerbeobachtungen aus einem einzigen Principe ableitet.

In den letzten 50 Jahren ist zwar Ueberraschendes in Betreff der astronomischen Strahlenbrechung geleistet worden; gleichwohl hat der Astronom immer noch

mit mannichfachen Hindernissen zu kämpfen, da die Atmosphäre auf die verschiedenste Art in Bewegung gesetzt wird, er aber dieselbe im Ruhezustande voraussetzen muß. Am unzuverlässigsten sind die Beobachtungen in niedrigen Höhen; der Astronom hat solche also, wenn irgend möglich, zu vermeiden.

Von den Erscheinungen, welche durch die astronomische Strahlenbrechung bedingt werden, heben wir hervor, daß die Sonne und der Mond bei ihrem Aufgange und Untergange eine abgeplattete Gestalt annehmen, d. h. im verticalen Durchmesser kleiner als im horizontalen erscheinen. Die mittlere Refraction im Horizonte beträgt ungefähr $35' 6''$. Der Durchmesser dieser Himmelskörper erscheint unter einem Winkel von etwa $32'$, es wird also der untere Rand derselben im Augenblicke des Auf- oder Unterganges um mehr als der ganze Durchmesser beträgt, gehoben; in diesem Augenblicke steht jedoch der obere Rand bereits in einer Höhe von $32'$, für welche die Strahlenbrechung nur $58'$ ausmacht, folglich wird der untere Rand um etwa $7'$ mehr gehoben, als der obere und beide müssen also um so viel einander näher erscheinen, als der noch $32'$ haltende horizontale Durchmesser.

Aus demselben Grunde sieht man Sonne und Mond bereits, wenn sie noch nicht aufgegangen sind, und erblickt sie noch, wenn sie schon untergegangen sind. Tritt der Augenblick des Vollmondes für einen Ort mit Sonnenuntergang ein, so wird man beide über dem Horizonte sehen; ist dann zufällig eine Mondfinsterniß, so erblickt man den bereits verfinsterten Mond noch beim Sonnenscheine. Daß der Aufgang der Gestirne überhaupt eben so beschleunigt und ihr Untergang verzögert wird, ist an sich klar.

Die astronomische Strahlenbrechung verlängert endlich unsere Tageszeit, ein Gegenstand, der besonders für die Polarregionen von Wichtigkeit ist, indem die Erscheinung, daß die Sonne länger als 24 Stunden über dem Horizonte bleibt, also nicht untergeht, schon in geringerer Breite, als die des Polarkreises ist, eintritt und eben so die entgegengesetzte Erscheinung, daß die Sonne länger als 24 Stunden nicht scheint, also nicht aufgeht, erst jenseits des Polarkreises stattfindet, während Beides theoretisch im Polarkreise zur Geltung kommen müßte.

Im Durchschnitt ergiebt sich die mittlere Strahlenbrechung für verschiedene Zenithdistanzen in folgender Weise:

Zenithdistanz	Strahlenbrechung	Zenithdistanz	Strahlenbrechung
5°	0' 5''	80°	5' 15''
10	0 10	81	5 48
20	0 20	83	7 18
30	0 33	85	9 45
40	0 48	87	14 15
50	1 8	89	24 38
60	1 39	90	35 6
70	2 37		

G. G.

Strahlenbrechung (Refraction), terrestrische, ist die Veränderung der scheinbaren Höhe irdischer Gegenstände, z. B. einer Bergspitze. Die Dichte der

Luftschichten nimmt bereits in geringen Höhen ab, wie im Artikel Höhenmessung, barometrische, Bd. III. S. 808 näher zu sehen ist; folglich wird ein von einem erhöhten Punkte ausgehender Lichtstrahl, obgleich er nicht durch die ganze Atmosphäre hindurchgeht, wie dies bei den Gestirnen der Fall ist, ebenfalls in einer gekrümmten Linie, deren hohle Seite der Erdoberfläche zugewendet ist, aus den höheren Schichten in die tieferen übergehen. Der Winkel, welchen die Tangente an dieser Curve da, wo diese in das Auge des Beobachters tritt, mit der von dem Auge nach dem Ausgangspunkte des Lichtes gezogenen geraden Linie bildet, ist das Maß für die terrestrische Strahlenbrechung. Im Allgemeinen ist die Bestimmung dieses Winkels wegen der in der Atmosphäre an der Oberfläche der Erde so häufigen Störungen mit Schwierigkeiten verknüpft; theoretisch ist derselbe eine Function des Winkels, welchen die beiden Halbmesser der Erde unter sich bilden, welche den Mittelpunkt derselben mit dem Beobachter und dem zu beobachtenden irdischen Objecte verbinden. Die beste Darstellung ist immer noch die von Laplace *). Zu vergleichen ist auch: Astronomische Nachrichten Nr. 397. S. 205 von v. Bacher; Nr. 410. S. 25 von Grunert und Nr. 452. S. 347 von Denzler.

Ist der Winkel, welchen die angegebenen beiden Radien mit einander bilden, α und r die Strahlenbrechung, so ist im Mittel $r = 0,08 \alpha$. H. G.

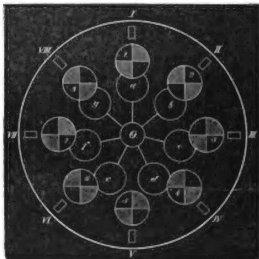
Streckbarkeit, s. Dehnbarkeit.

Stroboskopische Scheiben (Zauberscheiben), von *στροβος*, Kreisel und *σκοπεῖν*, sehen, weil die Scheiben im Kreise gedreht werden müssen. Es giebt in der Natur verschiedene Erscheinungen, welche auf dem Umstande beruhen, daß das menschliche Auge so eingerichtet ist, einen empfangenen Lichteindruck längere Zeit auf der Netzhaut andauernd zu empfinden, auch wenn der Lichtstrahl selbst, der ihn hervorgebracht hat, nicht mehr das Auge trifft (s. Art. Sehen, Bd. V. S. 840 ff.). Auf dieser Andauer des Lichteindrucks beruhen auch die stroboskopischen Scheiben und eine ganze Reihe ähnlicher Erscheinungen. — Man nimmt an, daß die Wirkung eines Lichtstrahles im Auge eine Empfindung hervorbringt, die ungefähr 0,2 Secunden anhält, je nach der Empfindlichkeit des Auges, welche natürlich bei verschiedenen Personen auch verschieden ist. Wenn man daher nach 0,2 Secunden wieder einen Lichteindruck auf das Auge wirken läßt, der mit dem ersten in einem gewissen Zusammenhange steht, so werden diese Lichteindrücke sich einander fortsetzen und eine Reihe von Bildern geben, deren Wechsel ein continuirlicher zu sein scheint, obgleich die objectiv wirkende eine unterbrochene war.

Denken wir uns in umstehender Figur eine Scheibe aus Pappendeckel 10 bis 12 Zoll im Durchmesser; am Umfange befinden sich in gleichen Distanzen acht, wohl auch zehn schmale längliche Löcher Nr. I. bis VIII. ungefähr 6 bis 8 Linien lang und 2 Linien breit. Wenn man nun durch den Mittelpunkt der Scheibe einen Stift steckt, um den dieselbe schnell gedreht werden kann, so hat man den Apparat der stroboskopischen Scheibe, die schon im Art. Sehen, Bd. V. S. 848 der Hauptsache nach erwähnt ist. Dreht man diese Scheibe schnell um

*) Mécan. céleste. T. IV. Vergl. auch Gehler's phys. Wörterb. N. B. Bd. VIII. S. 1153.

ihre Axe, während man sie vertical vor einen Spiegel hält, und steht man durch die Löcher hindurch auf das Spiegelbild der Scheibe, so scheint diese im Spiegel zu ruhen, und die Löcher, die an der drehenden Scheibe selbst ein durchsichtiges freisundes Band bilden, sind im Spiegel ziemlich scharf begrenzt und scheinen stille zu stehen. Befinden sich unterhalb dieser Löcher Zeichnungen, so erscheinen dieselben ebenfalls ruhend; da aber die Löcher nicht wirklich ruhen, sondern Eines um das Andere, an die Stelle des vorhergehenden treten, und nur für den Mo-



ment des Durchsehens ruhend erscheinen, so gilt dies auch für die unterhalb befindlichen Zeichnungen. Diese werden sich gegenseitig ablösen, und wenn sie eine continuirliche Bewegung oder Handlung darstellen, so wird man im Spiegel ein bewegtes oder handelndes Bild erblicken; und zwar wird dieses nicht nur mit dem obersten Bild, das man gewöhnlich anzuschauen pflegt, sondern mit allen Bildern der Schreiben der Fall sein, nur ist jedes in einer anderen Situation.

Wenn man eine solche Scheibe zeichnen will, hat man folgendes Princip zu beobachten: Will man z. B. eine drehende Scheibe darstellen, die, wie in unserer Figur, in vier verschiedene Felder eingetheilt ist, so muß man sich, wenn die stroboskopische Scheibe acht Löcher hat, die Drehung des Schreibens in acht Stadien vollendet denken, und unter jedes Loch das Schreiben in einem anderen Stadium zeichnen. Man wird die verschiedene Lage der Felder an den mit 1, 2, 3 bis 8 numerirten Feldern erkennen, die immer gegen das ober der Scheibe befindliche Loch um ein Achtel des Umfangs des kleinen Schreibens vorrücken. Auf diese Weise kann man alle möglichen periodisch wiederkehrenden Bewegungen in optischer Täuschung vor Augen stellen; ja sogar fortschreitende Bewegungen ist man zu veranschaulichen im Stande, nur muß die Zeichnung dann nicht unmittelbar unter dem Loch sich befinden, sondern demselben um einen aliquoten Theil des

Umfangs der Scheibe vorschreiten oder hinter derselben zurückbleiben; in unserer Figur haben die kleinen Scheibchen a, b, c bis g die für den Erfolg nöthige Stellung; bei b ist das Scheibchen gegen das Loch II um ein wenig vom Platze gerückt, gegen das Loch III um noch mehr π , und es wird im Spiegelbilde die weiße Scheibe a unter der in Felder getheilten vorbeigleiten, und die Scheibchen a, b, c, d und so fort werden mit ihren Speichen ein Rad darstellen, das sich um seine Axe dreht, während die in Felder getheilten Scheibchen ebenfalls sich zwar um ihre eigene Axe drehen, aber keine fortschreitende Bewegung haben, sondern ruhig an ihrem Platze bleiben. Wenn man die Zeichnung vergleicht, so sieht man, daß die fortschreitende Scheibe nur in sieben Figuren dargestellt ist, weil sie von einem Lichteindruck zum anderen einen größeren Winkel zu beschreiben hat, und somit der veränderten Stellung halber den ganzen Weg in sieben Stationen vollendet. Würde man neun kleine Scheibchen gezeichnet haben, so würden diese neun Scheibchen in ihrer Bewegung eine Drehung im entgegengesetzten Sinne bezüglich der sieben Scheibchen darstellen. Es sei der Umfang der Scheibe $U = 360^\circ$, ferner die Zahl der Löcher allgemein $= n$, der Bilder $= n \pm m$, so ist der Winkel zwischen zwei Löchern $= \frac{U}{n}$, zwischen zwei Bildern $= \frac{U}{n \pm m}$, mithin ist letzterer

vom ersten um $\frac{\pm U m}{n (n \pm m)}$ verschieden. Der Winkel, den das Bild vom

ersten Lichteindruck an zu beschreiben scheint, ist also $= \frac{\pm U m}{n (n \pm m)}$, vom zweiten

Lichteindruck an das Doppelte π , wodurch das Verhältniß der Geschwindigkeit des optischen Bildes zur wirklichen Geschwindigkeit der gedrehten Scheibe gegeben ist. Je nachdem der angegebene Bruch positiv oder negativ ist, geschieht die scheinbar fortschreitende Drehung des Bildes in demselben oder im entgegengesetzten Sinne der Drehung der stroboskopischen Scheibe; in unserer Figur ist $n = 8, m = -1$, also wird die obige Winkeldifferenz $= -\frac{360}{8 \cdot 7} = -\frac{360}{56}$

$= -6 \cdot 4 \dots$, d. h. während die stroboskopische Scheibe eine ganze Umdrehung macht, macht das Scheibchen-Rad $a, b, c \dots g$ nach entgegengesetzter Richtung im Bilde nur einen scheinbaren Weg von $7 \times 6 \cdot 4 = 44 \cdot 8 \dots$ Graden oder die stroboskopische Scheibe muß 8 Umdrehungen machen, bis das Scheibchenrad eine Umdrehung im Bilde macht.

Die Löcher und die Bilderszahl brauchen nicht gerade in dem in der Figur angegebenen Verhältnisse zu erscheinen, sondern wenn die Scheibe 15 oder 20 Zoll im Durchmesser hat, so kann man mehrere Löcher anbringen und auch mehr Zeichnungen; immer aber wird es zweckmäßig sein, für ruhende Bilder eben so viel, für fortschreitende nur eine Zeichnung mehr oder weniger als Löcher sind, anzufertigen.

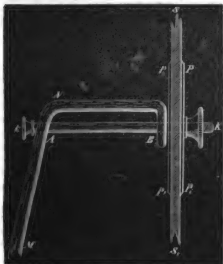
Allerdings wird die Erscheinung auch nicht gestört, wenn man z. B. auf 24 Löcher bloß 12 Zeichnungen macht; allein man hat dabei nichts erreicht, als daß man 24 Bilder sieht, wovon je zwölf intensiver und die zwischenliegenden anderen zwölf weniger intensiv erscheinen, weil sich der Lichteindruck auf die leeren Stellen der Scheiben unterhalb der freien Löcher überträgt, und nur dann, wenn

man Farbenmischungen hervorbringen will, ist es angemessen solche Bilder anzufertigen, indem man z. B. unter die freien Löcher einen gewissen leichten Farbenton malt, der sich mit dem Farbenton der Zeichnung combinirt und so ein subjectives Farbenspiel erzeugt.

Die fortschreitende Bewegung der optischen Bilder habe ich sehr glücklich bei einer englischen Stroboskopischen Scheibe angewendet gesehen, wo eine, über einen feststehenden Sessel springende Kage einen unten laufenden Hund verfolgt. Ueberhaupt ist der Spielraum für die Phantasie des Künstlers ein ungemein großer, und alle periodischen Bewegungen an Menschen, Thieren und Maschinen liefern Gegenstände dazu. In physikalischer Beziehung hat Müller eine instructive Anwendung der Stroboskopischen Scheibe bei der Wellenlehre gemacht. Er hat acht Scheiben construirt, auf denen er nachfolgende Gegenstände darstellt: 1) die Wasserwellen, 2) fortschreitende Seilwellen, 3) stehende Seilwellen, 4) fortschreitende Schallwellen, 5) stehende Luftwellen in einer gedeckten Pfeife mit einem Schwingungsknoten, 6) stehende Luftwellen in einer offenen Pfeife, welche ihren Grundton giebt, also einen Schwingungsknoten in der Mitte hat, 7) stehende Luftwellen in einer offenen Pfeife für den Fall, daß sie die Octave ihres Grundtones giebt, daß sich also zwei Schwingungsknoten in ihr bilden. — Bei den Luftwellen in den Pfeifen sind die Verdichtungen und Verdünnungen durch engere und weitere Schraffirungen quer durch die Pfeifen hindurch angezeigt, und es geben diese Scheiben eine Veranschaulichung des Vorganges bei der Schallbildung, wie sie durch andere Apparate nicht leicht erreicht wird.

Was die Größe der Löcher anbelangt, so sollen sie eine gewisse Breite nicht überschreiten, weil mit der wachsenden Breite dieser Spalten, die Zeichnung mehr verwaschen erscheint; wird die Spalte aber zu schmal, so wächst zwar die Schärfe der Bilder in den Contouren, aber es nimmt die Lichtintensität ab, mit welcher dieselben gesehen werden, und man muß daher nach Maßgabe der Beleuchtung und des gezeichneten Gegenstandes, die Breite der Spalte wählen; überhaupt hat man besonders darauf zu sehen, sehr kleine Details in den Zeichnungen zu vermeiden, weil sie bei der schnellen Rotation gar leicht verschwinden. Man macht daher alle Bilder in kräftig starken Zügen mit grellen Farbentönen, damit der Lichteindruck ebenfalls ein kräftiger werde. Die in der Zeichnung ruhenden Stellen müssen genau in derselben Entfernung vom Mittelpunkt der Scheibe o Fig. S. 148 gezeichnet werden, damit ihre Netzhautbilder im Auge sich ebenfalls decken, weil im Gegentheile das Bild im Auge hin- und herhüpft und unruhig wird. Zur Stroboskopischen Scheibe gehört auch noch der Apparat, mittelst dessen man dieselbe leicht in Drehung versetzen kann. Es giebt verschiedene Einrichtungen, von denen aber jene der Müller'schen Wellenscheibe die beste ist. Sie besteht aus einer Handhabe (einem Schraubenzieherheft), aus der ein langer Draht MN (s. umstehende Figur) hervorgeht, der bei N stumpfwinklig gebogen ist und vorne sich nach abwärts bis B krümmt. Das ganze obere Ende dieses Drahtes ist etwas platt gehämmert und hat bei A und B zwei Löcher, die als Zapfenlager für die Are dienen. Diese Are ist ebenfalls ein Drahtstängelschen, das sich schlotternd in den Löchern A und B bewegt. Bei k ist ein Knöpfchen angelöthet, bei dem man ebenfalls die Are drehen kann, wenn die Scheiben einmal im Schwunge sind, und welches zugleich das Vorwärtsgleiten der Are verhindert. Vorne, dicht an dem Loche B ist eine Messingscheibe pp, fest angelöthet; dann steckt man auf die verlängerte Are

die stroboskopische Scheibe S S, , worauf man ein feines Metallscheibchen P P, legt, und dann den Schraubenkopf K aufschraubt, der die stroboskopische Scheibe und das Metallplättchen an die angelöthete Scheibe p p, anpreßt und klemmt. Wiebt man nun der Scheibe mit der flachen Hand tangential einen Schlag, so geräth sie in Rotation, die man durch neue Schläge oder durch Drehung bei dem Knöpfchen k fortsetzen kann.



Man hat es auch versucht stroboskopische Scheiben in einer Zauberlaterne, oder einem dissolving - views - Apparat einzusetzen. Die auf Glas gemalten Bilder werden schnell in Rotation versetzt und durch einen Ausschnitt eines nach dem andern auf der Projectionswand abgebildet; allein die Wirkung ist nicht so täuschend wie bei den stroboskopischen Scheiben. Man sieht das Erscheinen und Ver-

schwinden der Bilder zu getrennt und es erhalten dadurch die Bilder selbst eine gewisse Unruhe, eine blitzartige Bewegung, welche der Täuschung Eintrag thut.

Es wundert mich sehr, daß es noch keinem Photographen eingefallen ist, die Photographie zur Darstellung stroboskopischer Scheiben zu benutzen; so wie die Genauigkeit der Bilder bei den stereoskopischen Darstellungen von so großem Werthe ist, so würde dies gewiß auch bei den stroboskopischen Bildern der Fall sein. J. D. eine Wasser schöpfende Person müßte sich recht gut auf photographischem Wege stroboskopisch darstellen lassen.

Was die Geschichte der Entdeckung der stroboskopischen Scheiben anbelangt, so muß sie unbestritten Stampfer in Wien zugeschrieben werden, obgleich auch Plateau in Brüssel fast gleichzeitig ähnliche Experimente angestellt hat, die auch ihm das Recht der Erfindung vindiciren. Faraday endlich hat um dieselbe Zeit, und noch vor Stampfer, eine Reihe ähnlicher Erscheinungen beobachtet und auch näher beschrieben; und dessen Arbeiten waren es auch vorzugsweise, welche Stampfer, und wie es scheint auch Plateau, zu ihren Erfindungen den Weg gebahnt haben. Stampfer legt der stroboskopischen Scheibe auch einen physikalischen Werth bei, indem er hofft, durch planmäßig angestellte Versuche die Dauer des Lichtindrucks in unserem Auge in seiner Abhängigkeit von der Individualität der Menschen mit größerer Genauigkeit bestimmen zu können, und wenn ich nicht irre, so wurde sogar die Meinung ausgesprochen, daß es wenigstens logisch nicht unmöglich wäre, durch eine unendlich schnell rotirende Scheibe mit schmalen Spalten die weiße Lichtwelle in ihre farbigen Bestandtheile aufzulösen, wobei freilich der Einwurf mit Recht zu besorgen ist, daß die Prägung dabei eine

Rolle spielen würde, auf deren Rechnung die auftretenden Farbenerscheinungen zu sehen wären. Leichter geht es aber die Zusammensetzung der Farben mittelst einer stroboskopischen Scheibe darzustellen. Man klebt auf die Löcher einer ganz weiß gelassenen stroboskopischen Scheibe, Hausenblasenfolien von bestimmten Farben. Die Reinheit der Farbe und die Durchsichtigkeit der Folien erlauben auf diese Weise einen Farbkreis für durchgelassenes Licht zu construiren, der die bekannten Gesetze der Farbencombination erläutert.

An die Erscheinungen der stroboskopischen Scheibe schließen sich, wie schon Eingang erwähnt, verschiedene andere Erscheinungen an, die mit ihr gleichen Erklärungsgrund haben. Zuerst gehören hierher die schon besprochenen Versuche Faraday's. Stampfer schildert dieselben mit folgenden Worten: „Faraday bemerkte zuerst an gezahnten Wühlrädern, welche mit einer solchen Schnelligkeit umliefen, daß kein Zahn unterschieden werden konnte, daß diese Zähne bei einer solchen Stellung des Auges, wobei das eine Rad das andere deckte, deutlich zu sehen waren, und sich wie Schattenbilder langsam herumbewegten. Eine ähnliche Beobachtung machte er ein anderes Mal an zwei Rädern, welche von gleicher Construction waren, und mit gleicher Geschwindigkeit in entgegengesetzter Richtung um ihre Axen rotirten.“

Hier erschien bei einer Stellung des Auges, wo das eine Rad das andere deckte, ein feststehendes Rad. Zwei schnell umlaufende Wagenräder bringen eine ähnliche Erscheinung hervor. Wird ein im Umlauf befindliches Rad von der Sonne beschienen, und der Schatten desselben durch das bewegte Rad angesehen, so verhält sich dieser Schatten auf ähnliche Weise, wie bei obigen Beobachtungen das hintere Rad. Man sieht nämlich mehr oder minder gekrümmte Linien, welche sich vom Schatten der Axe zur wirklichen Axe zu erstrecken scheinen. Faraday giebt nun einen Apparat an, mittelst welchem man die von ihm bemerkten Erscheinungen auf einfache Weise hervorbringen kann. Zwei Scheiben aus Pappendeckel werden parallel hinter einander gestellt, und mit einem Mechanismus versehen, wodurch man sie mit beliebiger Schnelligkeit und in beliebiger Richtung um ihre Axen drehen kann. Diese Scheiben werden ausgeschnitten, wodurch sie die Form von Rädern mit Speichen oder Zähnen erhalten. Den äußeren Kranz läßt Faraday ganz weg, indem nur die Einschnitte oder Speichen das Phänomen hervorbringen. Er erklärt nun, wie mittelst dieses Apparates durch gehörige Wahl des Verhältnisses der Geschwindigkeiten der Räder optische Radbilder hervorgebracht werden, welche entweder stehen, oder sich langsam nach der einen oder anderen Seite bewegen, während die beiden Räder mit einer solchen Schnelligkeit umlaufen, daß man an ihnen die einzelnen Speichen oder Zähne nicht im geringsten zu unterscheiden im Stande ist. Nimmt man ein solches ausgeschnittenes Rad, dreht es im Sonnenschein vor einer weißen Wand schnell um seine Axe, und betrachtet den Schatten durch das Rad hindurch, so wird man die eben beschriebene Erscheinung bemerken. Ein merkwürdiges Phänomen tritt ein, wenn man sich mit einem solchen Rade vor einen Spiegel in einer Entfernung von etlichen Fuß stellt, und während dies schnell um seine Axe gedreht wird, durch dessen Zähne hindurch in den Spiegel sieht, wo das reflectirte Bild als stehendes Rad mit der gehörigen Anzahl Zähne erscheint.

Faraday hat alle diese Erscheinungen erklärt, und diese Erklärungen

stimmen mit denen die Plateau und Roget gegeben haben, vollkommen überein, und erschöpfen die Sache vollständig *).

In die Klasse der eben angeführten Erscheinungen gehört auch gewissermaßen das Kaleidophon (s. d. Art.).

Das Lhaumtrop (s. Art. Sehen, Bd. V. S. 848) ist ebenfalls ein Instrument, das sich an die stroboskopischen Scheiben anschließt.

Eine andere ähnliche physikalische Spielerei wie die stroboskopischen Scheiben habe ich auch auf folgende Weise construirt gesehen. Eine Drehmaschine mit verschiedenen Rollen und Schnüren konnte der Art in Bewegung gesetzt werden, daß die eine Rolle mehrere Umgänge machte, während die andere nur einen Umgang machte. Auf die kleinere Rolle wurde eine Zeichnung aufgesteckt, die nach den Grundsätzen angefertigt war, wie man die Anamorphosen bei den Cylinderspiegeln zeichnet. Auf die größere sich langsamer bewegende Rolle mußte man eine schwarze Scheibe stecken mit vier schmalen Ausschnitten, die auf einander senkrecht standen. Die schwarze Scheibe drehte sich in entgegengesetzter Richtung von der bemalten; und da die bemalte transparent und rückwärts beleuchtet war, so war in Folge der ungleichen Rotationsgeschwindigkeit von Vorne durch die Ausschnitte in der schwarzen Scheibe ein regelrecht gezeichnetes Bild sichtbar und zwar vierfach, nämlich so vielfach, als Ausschnitte in der schwarzen Scheibe waren.

Eine Abänderung in der Construction der stroboskopischen Scheibe hat H o r n e r angegeben, und dem dadurch erhaltenen Apparat den Namen Dädalum (s. Art. Sehen, Bd. V. S. 848) gegeben, da derselbe ähnlich jenem Kunstwerke ist, welches Dädalus im grauen Alterthume erfunden haben soll. Wir wollen nun diesen Aufsatz noch mit jenen Worten beschließen, die L u c r e t i u s im Buche IV. Vers 772 gedichtet hat, und die ganz auf die stroboskopischen Scheiben passen. Diese Worte lauten in der Uebersetzung:

„Wundre dich übrigens nicht, daß Bilder sich scheinen zu regen,
Scheinen nach Ordnung und Maß Glieder und Arme zu werfen.

Nämlich: das eine verschwindet, dann kommt statt dessen ein andres,
Anders gestellt: und nun scheint jenes Geberde zu ändern:
Denn es versteht sich, daß dies im schnellsten Momente geschehe.“

W.

Ströme, Flüsse nennt man die größeren Wassergerinne, welche das auf der Erdoberfläche sich ansammelnde Quellwasser (s. d. Art. Quellen) dem Meere zuführen. Das Quellwasser fließt nach den Gesetzen der Schwere stets zu den tiefer gelegenen Stellen der Erdoberfläche und vereinigt sich zu Bächen, Flüssen und Strömen, die gleichfalls nach den tieferen Orten streben. Da nun das Meer (der Ocean) die am tiefsten gelegenen Theile der festen Erdmasse einnimmt, so nehmen fast alle Flüsse endlich ihren Weg nach dem Meere. Nach demselben Gesetze ergießen sich aber auch manche Flüsse in Seen (s. d. Art. Seen). Während des Laufes eines Flusses ergießen sich öfter kleinere oder größere Bäche oder Flüsse (Nebenflüsse) in denselben, und vergrößern durch ihr Wasser den Hauptfluß. Der Ort, wo der Fluß ins Meer eintritt oder in einen anderen einströmt, heißt die **Mündung** desselben. Verfolgt man von dieser aufwärts den Lauf des Flusses, so schwindet er endlich zu einem Bache zusammen und zuletzt gelangt man

*) S. auch Art. Sehen, Bd. V. S. 830.

zu den Quellen desselben, die entweder zwischen Felsen hervorrinnen oder größere Ansammlungen von Wasser, Teiche, Seen und dergleichen bilden. Die Entstehung der Flüsse fällt also zuletzt mit der der Quellen (s. d. Art.) zusammen und leitet man diese von dem in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampfe ab, welcher seinerseits wieder durch den Einfluß der Wärme aus den Wassersammlungen der Erdoberfläche entspringt, so erkennt man, wie alles Wasser der Erde in einem fortwährenden großen Kreislaufe begriffen ist.

Die Gesamtheit der Quellen, Bäche und Flüsse, welche ihr Wasser einem größern Flusse oder Strome zuführen, bildet (den letzteren mit einbegriffen) ein *Flußsystem*, während man die Fläche, welche ein solches Flußsystem bedeckt oder deren Wasser es ableitet, ein *Stromgebiet* nennt. Derjenige Theil des Stromgebietes, welcher die Mehrzahl der zugehörigen Quellen in sich faßt, wird der *Quellenbezirk* genannt. — Bezüglich der sogenannten *Wasserscheide*, welche benachbarte oder an einander grenzende Flußsysteme von einander scheidet, vergleiche Art. Berg, Bd. I. S. 765. Im Allgemeinen kann man sich die Wasserscheide als eine Linie vorstellen, die theils auf dem Rücken der Gebirge, theils aber auch auf dem Flachlande fortläuft, und von welcher aus das atmosphärische Wasser nach entgegengesetzten Richtungen fällt.

Bei größeren Strömen kann man häufig drei Stufen ihres Laufes, nämlich den Ober-, Mittel- und Unterlauf, unterscheiden. Den ersteren findet man in der Nähe des Quellenbezirkes; sein Bett ist stark gegen den Horizont geneigt, und im Hochgebirge erscheint er als Gebirgsstrom durch die Vereinigung schäumender und tobender Wildbäche, von denen einige nur im Frühjahr beim Schmelzen des Schnees oder im Sommer nach Gewittern fließen. Diese Wildbäche und auch der Gebirgsstrom führen viele Felsstrümmen mit sich und bedecken in flachen Thälern oft das ganze Bett des Thalgrundes mit Sand und Kies. Nachdem der Strom das Gebirgsland verlassen hat, wird sein Lauf und seine Geschwindigkeit regelmäßiger und gleichförmiger. Der Strom beginnt nun seinen Mittellauf. Je mehr er sich aber der Horizontale nähert, desto geringer wird im Ganzen seine Geschwindigkeit; er ist dann in seinem Unterlaufe. Die Schlamm- und Sandtheilchen, welche er mit sich führte, fallen in größerer Menge zu Boden und können ihn veranlassen, sich neue Wege zu suchen, wodurch denn auch eine Zertheilung der Strommasse in mehr oder weniger zahlreiche Mündungen bewirkt wird. — Da ein Fluß immer die niedrigsten Stellen der Erdoberfläche einzunehmen sucht, so wird sein Lauf öfter einen gekrümmten als einen geraden Weg beschreiben; meist nimmt die Anzahl der Krümmungen gegen die Mündung hin zu. Doch wird das Bett des Flusses da gerade sein, wo es seiner Wassermasse in Folge der Beschaffenheit des Bodens möglich war, den Widerstand des letzteren zu überwinden.

Die Bewegung des Wassers in Strömen oder Flüssen behandelt ein besonderer Artikel (Bd. I. S. 847 ff.). Da die Geschwindigkeit des fließenden Wassers in verschiedenen Punkten eines und desselben Querprofils ungleich ist, so resultirt daraus eine convexe Oberfläche des Profils, falls nämlich der Punkt der größten Geschwindigkeit mit dem Stromstriche, also etwa mit der Mitte des Profils zusammenfällt. Der Druck, welchen die fließenden Wassertheilchen nach unten und gegen einander ausüben, ist um so kleiner, je größer ihre Geschwindigkeit ist. Daher ist es zur Herstellung der hydrostatischen Druckverhältnisse aller verticalen Wasserfäden eines Querprofils erforderlich, daß sich die Fäden, in welchen die

Geschwindigkeit der Theilchen größer ist, über die anderen erheben, damit alle Fäden desselben Profils gleichen Druck empfangen und ausüben. Die Erhebung des Wassers wird hiernach am Orte der größten Geschwindigkeit am größten sein.

Zur Bestimmung der Geschwindigkeit des strömenden Wassers gebraucht man sogenannte Hydrometer (Strommesser, Rheometer). Am einfachsten sind die sogenannten Schwimmer, gewöhnlich hohle Kugeln aus Kupfer- oder Messingblech, deren Gewicht durch eingefülltes Wasser dergestalt regulirt werden kann, daß sie mehr oder weniger über die Oberfläche des Wassers hervorragen. Man kann sie mit einem Kork verschließen und mit einem in denselben gesteckten Zeichen versehen, um ihre Bewegung deutlicher beobachten zu können. Ihre Anwendung erfordert Windstille. Zur Ermittlung der Geschwindigkeit in verschiedenen Tiefen kann man zwei solcher Kugeln, von denen die eine ganz mit Wasser gefüllt ist, durch einen Faden oder eine Drahtkette mit einander verbinden. Mittelft einer guten Uhr läßt sich die Zeit bestimmen, in welcher der Schwimmer eine gewisse, am Ufer abgesteckte, Strecke zurücklegt. Dividirt man diese Strecke durch die erhaltene Zeit, so ergiebt sich die gesuchte Geschwindigkeit. Anstatt der Schwimmkugeln wendet man auch sogenannte Schwimmstäbe an, nämlich tannene, mit Oelfarbe angestrichene Stäbe, die unten mit einer blechernen Kapsel versehen sind. In die letztere bringt man mehr oder weniger Schrotkörner, um das Einsinken bis zu einer gewissen Tiefe zu bewirken und daselbst die Geschwindigkeit zu ermitteln. Man wendet wohl auch einen gleichmäßig dicken Stab an, der von der Oberfläche des Wassers bis nahe an den Boden reicht, um die mittlere Geschwindigkeit des Flusses zu messen. Dabei zeigt es sich dann, daß die Geschwindigkeit in ungleichen Tiefen wirklich verschieden ist, indem der Stab fast alle Zeit eine schräge Richtung annimmt, ein Resultat, welches schon Mariotte erhielt, als er zwei oder mehrere Schwimmkugeln mittelft eines Fadens vereinigte und fand, daß immer die eine der anderen vorausseilte.

Als das beste Hydrometer betrachtet man den hydrometrischen Flügel von *Woltmann* *), vermittelst dessen sich die Geschwindigkeit durch die Anzahl der Umdrehungen, welche mehrere an einer Axe befestigte Flügel in Folge des Wasserstoßes in einer gewissen Zeit machen, bestimmen läßt. Die Flügel oder Schaufeln, welche dem Stoß des fließenden Wassers ausgesetzt sind, setzen eine Welle in drehende Bewegung; an dieser Welle befinden sich einige Schraubengänge, welche in die Zähne eines Rades eingreifen. Ziffern, welche an den Seitenflächen dieses Rades angebracht sind, geben mit Hülfe eines festen Zeigers die Anzahl der Umdrehungen der Welle an. Auf die Welle des eben betrachteten Zahnrades läßt sich noch ein Getriebe aufsetzen, welches in ein zweites Zahnrad eingreift, an dem man vielfache der Flügelumdrehungen ablesen kann. So wird es möglich, eine große Anzahl von Umdrehungen zu beobachten. Das Instrument ist mit einer Blechfahne an einen Stab geschraubt, der dazu dient, dasselbe ins Wasser zu tauchen und dem Strome entgegen zu halten. Die Axen des Räderwerkes laufen in einem Hebel um, den man durch eine Feder niederdrücken und

*) Theorie und Gebrauch des hydrometrischen Flügels. Hamb. 1790. Berliner Denkschriften 1816. S. 23. Langsdorf, System der Maschinenkunde. Bd. I. S. 193. Weisbach, Mechanik. Bd. I. S. 511.

an einer Schnur emporziehen kann; zieht man ihn in die Höhe, so kann das Getriebe der Welle in die Zähne des betreffenden Rades eingreifen.

Man senkt das Instrument bis zur erforderlichen Tiefe in das Wasser ein und löst das Räderwerk; die Flügel nehmen eine der Stromgeschwindigkeit entsprechende Schnelligkeit der Umdrehung an. Doch ist die Umdrehungszahl der Flügel in einer gewissen Zeit nicht streng der Geschwindigkeit des Wassers proportional; so daß man also auch die letztere, die durch v bezeichnet sei, nicht ohne weiteres gleich $m n$ setzen kann, wo n jene Umdrehungszahl und m einen Erfahrungscoefficienten bezeichnet. Weißbach giebt die Formel $v = v_0 + \alpha n$ oder genauer $v = \alpha n + \sqrt{v_0^2 + \beta n^2}$, in welcher v_0 die Geschwindigkeit des Wassers ist, bei welcher dieses die Flügel nicht mehr umzudrehen vermag, α und β aber Erfahrungscoefficienten bedeuten. Sind die constanten Größen v_0 , α und β für ein bestimmtes Instrument dieser Art ermittelt, so reicht dann eine einzige Beobachtung aus, um die Geschwindigkeit des Wassers zu ermitteln, obwohl es zweckmäßig ist, aus zwei Beobachtungen das Mittel zu nehmen. Jene Erfahrungscoefficienten lassen sich aber bestimmen, wenn man das Instrument in fließendes Wasser von bekannten Geschwindigkeiten bringt und die betreffenden Umdrehungszahlen beobachtet. Dabei kann man, größerer Sicherheit wegen, mehr Beobachtungen machen als Constanten vorhanden sind, und dann die Methode der kleinsten Quadrate (s. Art. Beobachtung) anwenden. Die Geschwindigkeit des Wassers läßt sich bei dieser Ermittlung durch eine Schwimmkugel, deren Durchmesser etwa gleich ist dem Durchmesser des Flügelrades, oder auch dadurch bestimmen, daß man das Wasser in einem Maßgefäße auffängt, und die in dem letzteren gemessene Wassermenge durch das Quersprofil dividirt.

Ein anderer, früher vielfach gebrauchter Strommesser ist der Stromquadrant oder das hydrometrische Pendel. Im Mittelpunkte eines in Grade eingetheilten Quadranten ist ein Faden befestigt, der eine Kugel aus Metall oder Elfenbein (von etwa 2 bis 3 Zoll Durchmesser) trägt. Die Ebene des Quadranten bringt man in die Richtung des Stromes und die Kugel in den letzteren. Die Kugel wird dann durch den Stoß des Wassers aus der verticalen Richtung abgelenkt, und dieser Ablenkungswinkel dient zur Bestimmung der Geschwindigkeit des fließenden Wassers. Man trifft dieses Instrument häufig in der Gestalt eines rechtwinkligen Dreiecks, dessen eine Kathete, der man eine horizontale Lage giebt, mit einer Gradeintheilung und einer Röhrenlibelle versehen ist, welche letztere zur Einstellung der sogenannten Nul- oder Nulllinie in die Verticale dient. Ist die Geschwindigkeit des Wassers größer als vier Fuß, so gebraucht man hohle Metallkugeln. Uebrigens darf die Kugel nicht auf dem Wasser schwimmen, sondern muß bis zu einer gewissen Tiefe eingetaucht sein. Soll aber das Instrument für größere Tiefen gebraucht werden, so muß auch der Einfluß des Wasserstoßes gegen den Faden berücksichtigt werden, oder man befestigt die Kugel an einen dünnen Metalldraht, um diesen Einfluß möglichst zu vermindern. Ist die Kugel nicht sehr tief eingetaucht, so ist die Tangente des Ablenkungswinkels des Fadens aus der Verticalen gleich dem Quotienten aus dem Wasserstoße und dem Gewichte der Kugel. Der Wasserstoß ist aber dem Quadrate der Geschwindigkeit des Wassers und dem Querschnitte der Kugel proportional *). Bezeichnet man das

*) S. Art. Mechanik der Flüssigkeiten.

Gewicht der Kugel durch G , ihren Querschnitt durch F , durch v die Geschwindigkeit des Wassers, durch α den Ablenkungswinkel und durch m eine Constante, so hat man $\text{tang. } \alpha = \frac{m F v^2}{G}$, und $v = \sqrt{\frac{G \cdot \text{tang. } \alpha}{m F}}$.

Ein anderes, einfaches Hydrometer ist die Pitot'sche Röhre *), welche entweder ganz oder zum Theil aus Glas besteht und deren unterer in das Wasser getauchte Theil krumm umgebogen und wohl auch noch mit einem Trichter versehen ist. Diese Röhre wird an einer Leiste oder einem Pfahle so in das Wasser herabgelassen, daß der untere umgebogene Theil mit seiner Oeffnung gegen den Strom gerichtet ist. Das Wasser wird dann vermöge seiner Geschwindigkeit in der Röhre über das Niveau des Flusses emporsteigen. Neben diese Röhre wird nun noch eine andere von gleicher Beschaffenheit, die aber gerade ist und mit der ersten auch in fester Verbindung stehen kann, bis zu gleicher Tiefe eingetaucht. Der Unterschied der Wasserhöhen in beiden Röhren wird an einem zwischen ihnen befindlichen, in kleine Theile getheilten Maßstabe abgelesen, und die Geschwindigkeit des fließenden Wassers ergibt sich dann nach der Formel $v = \sqrt{\frac{2g(h-h')}{m}}$, wo h

die Wasserhöhe in der Pitot'schen Röhre, h' die viel geringere in der Hülfröhre, m einen Coefficienten und g die Beschleunigung der Schwere bezeichnet. Der Coefficient m kann durch Versuche mit Wasser von bestimmter Geschwindigkeit des Fließens ausgemittelt werden, und sein Werth wird nicht viel von 1 abweichen.

Anderer Hydrometer, die zum Theil eine geringere Bequemlichkeit und Sicherheit darbieten, sind noch Brünning's Tachometer, Kimenes' Wasserfahne, Voletti's Rheometer, Michelotti's hydraulische Schnellwage und Fergna's Wasserhebel **).

Die Wassermenge, welche durch ein Querprofil fließt, ergibt sich durch Multiplication der mittleren Geschwindigkeit mit dem Inhalte des Querprofils. Der letztere läßt sich aber durch seine Breite und die mittlere Tiefe des Wassers bestimmen. Die Breite kann bei gewöhnlichen Bächen durch eine Meßkette oder Stange, bei größeren Flüssen mittelst eines Meßtisches, die Tiefe an verschiedenen Punkten des Querprofils aber durch eine eingetheilte Sondirstange, die an ihrem Fuße ein Brettchen trägt, oder durch eine Sondirstange mit einer eisernen Platte, die sich auf das Flußbett setzen kann, bestimmt werden. Denkt man sich nun die Breite in eine gewisse Anzahl von Theilen n, n', n'', \dots getheilt, denen die mittleren Tiefen t, t', t'', \dots und die mittleren Geschwindigkeiten c, c', c'', \dots zugehören, so ist der Inhalt F des ganzen Profils $= nt + n't' + n''t'' + \dots$ und die Wassermenge $ntc + n't'c' + n''t''c'' + \dots$. Daher die mittlere Geschwindigkeit $= \frac{ntc + n't'c' + n''t''c'' + \dots}{nt + n't' + n''t'' + \dots}$.

*) Mém. de l'Acad. 1832. p. 363.

**) Brünning, Abhandlung über die Geschwindigkeit des fließenden Wassers und von den Mitteln, dieselbe in allen Tiefen zu bestimmen. Frankfurt. 1798. Poletti in Atti della Soc. Ital. delle Scienze. T. XIX. Dingler's polytechn. Journ. Bd. XX. 1826. — Vergl. auch Gytelwein's Handbuch der Mechanik fester Körper und der Hydraulik. 2. Aufl. Gerstner's Handbuch der Mechanik. Bd. II.

Betrachtet man verschiedene Quersprofile eines Stromes bei gleich starkem Gefälle, so verhalten sich die mittleren Geschwindigkeiten in denselben umgekehrt wie die Inhalte dieser Profile. Sind die letzteren durch F und F' , die Geschwindigkeiten durch c und c' bezeichnet, so fließen durch diese Profile in der Zeit t resp. die Wassermassen Fct und $F'c't$. Es muß aber durch alle Profile in gleicher Zeit gleich viel Wasser fließen, falls ein Zusammenhang der Wassermasse bestehen soll; daher $Fct = F'c't$ oder $F:F' = c':c$. Demgemäß wird nun auch die Geschwindigkeit zunehmen, wenn das Strombett sich verengt, dagegen bedeutend abnehmen, wenn der Strom größere Seebecken durchfließt.

Die größte Geschwindigkeit erreicht ein Strom in den sogenannten Wasserfällen, weil hier das Maximum des Gefälles eintritt. Dabei ist es möglich, daß das Wasser bei stark zurücktretenden Felsen diese während des Falles nicht berührt. Es ist dann nur der Widerstand der Luft zu überwinden, welche sich mit dem Wasser mengt und dasselbe in größerer oder geringerer Masse staubartig zerteilt. Die Erscheinung eines Wasserfalles wird natürlich um so großartiger sein, je höher der Abhang und je größer der Strom ist, welcher ihn bildet. In Europa gehören zu den bekanntesten der Staubbach mit 900 Fuß Höhe, der obere Reichenbach (200 F. hoch), die Rheinfälle bei Schaffhausen und Laufen, der Fall des Velino bei Spoleto, der des Cetina in Dalmatien, bei welchem sich der Fluß fast ganz in Staub zerteilt und ein gewaltiges Prausen erregt *). Großartige und schöne Wasserfälle bietet auch Skandinavien. Der Wasserfall des Glomen bei Sarp in Norwegen soll von der Art sein, daß der ganze Fluß 60 F. hoch gewissermaßen in einem Absatze über einen Felsengrund stürzt **). Zwischen Bergen und Stavanger giebt es zwei Wasserfälle, einen mit wenig Wasser, aber 1600 F. hoch ***). Der Wasserfall Trollhätta (Zauberhöhle) der Götha-Elbe bei Gothenburg besteht aus vielen Absätzen, welche zusammen wohl 128 F. betragen; doch ist kein Sturz höher als die eigentliche Trollhätta von 6 F. ****). Die Nidelv bei Drontheim bildet zwei Wasserfälle; der eine von ihnen, der große Leerfos, ist etwa 96 F. hoch und 400 F. breit und fällt auf einer wenig unterbrochenen Fläche herab *****). Schöner ist der Wasserfall der Lundelv; der Strom ist 130 bis 140 F. breit, stürzt in einem breiten Bogen 20 bis 24 F. herab; ein Arm desselben bricht sich an einem Felsen und steigt von einem durchsichtigen Nebel umgeben in die Höhe, und dieses Phänomen wiederholt sich sechs bis sieben Mal in geringen Höhen, bis sich das Ganze in ein weißes Gefräusel auflöst. Auch Island besitzt Wasserfälle, die namentlich durch den Contrast des weißen Wasserschaumes mit der schwarzen Lava überraschend schön sind. Zu den höchsten Wasserfällen in Europa gehören die in Spanien, wo aus einem Amphitheater des Berges Marbore 10 bis 12 Gießbäche von einer 1400 F. hohen Wand herabstürzen. Auch in Asien giebt es schöne Wasserfälle †); hierher gehören die des Tigris und Ganges.

*) Bolkmann, Nachrichten von Italien. Th. III. S. 370.

**) Allgemeine geograph. Ephemeriden. 1798 Mai.

***) Nouvelles Ann. de Voyag. T. XVII. p. 148.

****) Hausmann, Reise durch Skandinavien. Th. I. S. 220.

*****) Bedemar, Reisen. Th. II. S. 21.

†) Beckmann, Histor. Orb. terr. p. 90. Forster, Notizen. Th. XXVI. S. 230. Edinb. New Phil. Journ. No. XX. p. 294; No. VII. p. 182; No. XVIII. p. 385. Beiträge

In Ostindien soll der Wasserfall von Semah an Großartigkeit hinter keinem auf der Erde zurückstehen. In Afrika bieten der Senegal, Zaire und Nil (bei Matar und Syene) Wasserfälle dar *). Reich an schönen Wasserfällen ist besonders Amerika: Dahin gehören der des Potomac in den Allegheny-Bergen von 72 F. Höhe und 800 F. Breite, des Coho 30 F. hoch, des Genessee (zwei von 60 bis 80 F. Höhe), des Passaic von 70 F. Höhe, des Connecticut von 60 F., vor allen aber die des Rio Vinagre bei Purage, von 370 F.; des Rio de Bogota bei Tequendama in Neu-Granada von 530 F. Höhe, und der berühmte Niagara-fall, 160 F. hoch und 4000 F. breit. Auch der Missouri bietet einen der größten Wasserfälle dar, und selbst im nördlichsten Theile von Amerika kommen einige schöne Wasserfälle vor **). Der Niagara-fall stürzt sich aus der Ebene des Eriesee in die des Ontario; der Strom, welcher ihn bildet, wird durch eine etwa 1400 F. lange Felseninsel in zwei Theile gespalten, so daß er denn auch in zwei Armen herabstürzt ***).

Durch eine beträchtliche Verengerung des Flußbettes bei starkem Gefälle entstehen die sogenannten Stromschnellen, die namentlich da von Bedeutung sind, wo das Wasser zwischen Felsen zusammengedrängt wird. Es gehören hierher die Stromschnellen des Connecticut und Amazonenstromes ****).

Wasserfälle, welche durch ein unebenes (terassen-, treppen- oder stochwerk-artiges) Fallbett gebildet werden, nennt man häufig wohl auch Katarakten.

Da die Felsen theils durch Verwitterung, theils durch die mechanische Gewalt des Wassers an Masse verlieren, so schließt man hieraus auf eine allmälige Erniedrigung der Wasserfälle, wozu auch nach Humboldt, wenigstens in manchen Fällen, noch der Umstand beitragen kann, daß das Flußbett unterhalb des Falles durch Anhäufung von Sand und Schlamm erhöht wird.

Die Größe der Flüsse und Ströme ist bekanntlich sehr verschieden; sie hängt ab von der Länge, Breite und Tiefe derselben und besonders von der Menge der Nebenflüsse, die einem größeren Flusse oder Strome ihr Wasser zuführen und die mit ihm zusammen ein Stromgebiet bilden. Die größten Flüsse haben Asien und Amerika, kleiner sind die Flüsse Afrikas und durchschnittlich die kleinsten die von Europa. Die Wassermenge, welche in der Zeiteinheit durch das Quersprofil eines Flusses strömt, ist nicht immer dieselbe, da theils durch häufige Regengüsse, theils durch das Schmelzen des Schnees, theils auch durch den Eisgang ein Anschwellen

zur Länder- und Völkerkunde. Th. IV. S. 248. Arson's Reisen in Otto's, Hydrographie, S. 210.

*) Otto, Hydrographie. S. 210. Ann. of Phil. T. XII. p. 183. Recueil d'observations et de Mém. sur l'Egypte ancienne et moderne etc. par Jomard. Par. 1822. T. I. chap. 1. Ritter, Erdkunde. Th. I. S. 239 u. 273. Lagh, Reise durch Aegypten etc. Weimar 1818. S. 58. Lichtenstein, Reisen. Th. 1. S. 233.

**) Obeling, Erdbeschreibung. Th. II. Bradenbridge, Ansichten von Louisiana. Weimar 1818. S. 64. Franklin, Narrative of a Journey to the shores of the Polarsee. Lond. 1823. p. 37 u. 397. Nouv. Ann. de Voyages. T. XXIV. p. 423. Humboldt's Reisen. Th. IV. S. 52 u. 60.

***) De Roos, Personal narrative of Travels in the United states etc. London 1827. John Melich, Reisen durch die Vereinigten Staaten. Weimar 1819. S. 370.

****) Beiträge zur Länder- und Völkerkunde. Th. II. S. 149. Condamine's Relie. S. 220.

der Flüsse bewirkt wird. Die Bestimmungen über die Wassermengen der Flüsse sind mit großer Unsicherheit behaftet. Schätzungen über die gesammte Wassermenge, welche alle Ströme zusammen jährlich dem Meere zuführen, haben Büfson *), der sich dabei auf Angaben von Keil **) stützt, Riccioli ***) und de la Metherie ****) angestellt. Nach der Schätzung von Riccioli beträgt die jährliche ins Meer strömende Wassermenge 455,5 Cubikmeilen, und hiernach würde sich das gesammte Wasser des Meeres erst in 4488 Jahren erneuern. De la Metherie berechnete 341 Cubikmeilen. Die richtigsten Angaben glaubte man in dieser Beziehung zu erhalten, wenn man die Wassermengen der einzelnen Flüsse der Größe ihrer Stromgebiete proportional annahm (*****). Nach Brünning floss im Jahre 1790 durch das Querprofil des Rheins bei einer mittleren Tiefe von 9 Fuß 5,5 Zoll in 1 Secunde 54431 rheinl. Cubikfuß, und 1792 bei einer mittleren Tiefe von 15 Fuß 8 Zoll 109787 rheinl. Cubikfuß. Hieraus ergeben sich als Mittel 82109 Cubikfuß in 1 Secunde und jährlich 0,1959 Cubikmeilen. Schätzt man nun, wie geschehen ist, das Wasser aller übrigen Flüsse, deren Stromgebiet bekannt ist, auf 186 Rheinströme, so würden diese 36,4374 Cubikmeilen Wasser ins Meer führen; und wenn man für die unbekannten Flüsse nach $\frac{1}{3}$ zurechnet, so erhält man etwa 50 Cubikmeilen jährlichen Zuflusses. Hiernach würde sich das Meer, als leer vorausgesetzt, erst in 30000 Jahren füllen. Munde †) veranschlagte mit Rücksicht auf die Stromanschwellungen durch Regen die jährliche dem Meere zufließende Wassermenge auf 75 Cubikmeilen.

Die Stromgebiete der größeren Flüsse enthalten ††) nach Denzler an geographischen Quadratmeilen:

Amerika.			
Amazonenfluß	106000 Quadratm.	Yena	37100 Quadratm.
La Plata	55400 "	Amur	36400 "
Mississippi	61400 "	Hoang-ho	33800 "
Lorenzstrom	41100 "	Ganges und Brahmaputra	27000 "
Madengie	27600 "	Indus	19500 "
Afrika.		Europa.	
Nil	32600 Quadratm.	Volga	24800 Quadratm.
Senegal	25600 "	Donau	14600 "
Zambeze	22000 "	Rhein	4080 "
Asien.		Bo	1870 "
Obi	57200 Quadratm.	Rhone	1760 "
Jentsei	48600 "		

*) Hist. nat. générale et part. T. I. p. 356.

**) Examination of Burnets Theory. Lond. 1734. p. 126.

***) Geographia reform. Cap. X. §. 7.

****) Theorie der Erde Bd. II. S. 282.

*****) Vergl. W. W. Schmidt, Handbuch der Naturlehre. Gießen 1813. S. 711.

†) Gehler's phys. Wörterb. Bd. VIII. S. 1191.

††) Stüder, phys. Geogr. und Geologie. Cap. 1. S. 98.

Die Anschwellungen der Flüsse, welche, wie bereits erwähnt, durch Regen und zum Theil auch durch das Schmelzen des Schnees in den Gebirgen bewirkt werden, sind theils regelmäßig (periodisch) wiederkehrend, theils unregelmäßig. Bei den Strömen der heißen Zone finden die Anschwellungen in Folge periodischer Regengüsse periodisch statt. Am bekanntesten sind die Anschwellungen des Nils und die damit verbundenen Ueberschwemmungen. Der Nil fließt zum großen Theil zwischen den Wendekreisen, wo die periodischen Regen gegen Ende Mai beginnen; die Fluth gelangt aber erst in der Mitte Juni nach Aegypten und bedeckt das ganze Niltal mit Wasser. Das Wasser erhält sich ungefähr bis Anfang September, fällt dann und überzieht den hinlänglich befeuchteten Boden mit fruchtbarem Schlamm. Da durch die Ueberschwemmungen der Boden allmählig erhöht wird, so muß das Wasser auch höher steigen, um das Land gehörig bewässern zu können. Die alten Aegyptier kannten den Wasserstand genau nach der Angabe ihres Nilmessers (Nilometer) zu Memphis, jetzt befindet sich ein solcher auf der Insel Moudah bei Cairo. — Großartiger noch als die Anschwellungen des Nils sind die mancher anderer Flüsse, wie des Ganges, Mississippi, Orinoko, Amazonenflusses etc.

Die Ab- und Zunahme im Wasserstande der Flüsse erkennt man an sogenannten Pegeln, d. h. an Maßstäben, die vertical im Flusse aufgerichtet sind.

Es fehlt nicht an Spuren, welche darauf hindeuten, daß viele, wenn nicht alle Ströme einst einen viel größeren Wasserstand als dormalen hatten, und das ganze Thalbeden ausfüllten. — Bei einigen Flüssen des mittleren Europa scheint eine Verminderung ihrer mittleren Wassermasse stattgefunden zu haben. Diese Verminderung beträgt nach Berg haus, auf Grund einer Vergleichung der Wasserstände bei Rüstzin im Anfang und am Ende der sechzig Jahre vor 1835: $1\frac{1}{4}$ Fuß. Für die Elbe ergiebt sich, wenn die mittlere Höhe bei Magdeburg aus der ersten Hälfte des mit 1830 abschließenden Jahrhunderts mit derjenigen aus der zweiten verglichen wird, eine Abnahme von $1\frac{3}{4}$ Fuß. Der Rhein bei Basel zeigt nach Merian während der 30 Jahre vor 1838 eine Verminderung von 0,675 *).

Einige Flüsse verschwinden unter Felsen und treten später wieder hervor. Sehr bekannt ist in dieser Beziehung die Perte du Rhone. Die Rhone hat unterhalb Genf eine Breite von etwa 300 Fuß, ihre Ufer verengern sich aber bei Fort Gluse, so daß sie in einer Breite von nur 50 Fuß zwischen und über Felsen hinrauscht. Endlich verschwindet sie unter einem Feliengange und bricht aus demselben in einer Entfernung von 60 Schritten wieder hervor. In Surrey bei Dorking verschwindet der Fluß Mole und tritt unter starkem Brausen bei Leatherhead wieder hervor. Ohnweit ihres Ursprungs verschwindet auch die Guadiana, welche in einem See wieder austritt. Manche Flüsse verschwinden auch ganz, indem das Wasser von Löchern, die sich im Flußbette befinden, verschluckt wird. Dies zeigt sich namentlich im Jurakalkstein. Dann giebt es auch Flüsse, die im Sande versinken, so namentlich in Afrika. Endlich ergießen sich manche Flüsse in Seen (s. d. Art.), während die Mehrzahl dem Ocean zufließt.

Die chemische Beschaffenheit des Flußwassers hängt, wie auch die Farbe desselben, theils von den Stoffen ab, welche ihm durch das Quellwasser zugeführt

*) Studer, phys. Geogr. und Geologie. Cap. 1. S. 113.

werden, theils von denen, die es aus seinem Bette aufnimmt. Doch ist es im Allgemeinen chemisch reiner, weicher und süßer als vieles Quellwasser, da dasselbe verhältnißmäßig nur wenig an Salzen enthält; allein es giebt auch Flüsse, welche Kochsalz und andere, welche Kalkerde in großer Menge mit sich führen (s. Artikel Wasser). Wegen des geringeren specif. Gewichtes des süßen Wassers schwimmt das Flußwasser beim Einmünden ins Meer zunächst auf der Oberfläche des letzteren. Die Masse fester, mechanisch beigemengter Theilchen ist im Flußwasser oft sehr groß. Die Bäche und Flüsse führen Erde und Steine von den höher gelegenen Gegenden dem Meere zu. Wo ihr Lauf schnell ist, waschen sie das Ufer aus, führen Erde, Steine und Sand streckenweise mit sich fort und setzen es wieder ab, wo ihre Geschwindigkeit geringer wird. Horner fand im Rhein (bei Bonn) bei niedrigem, aber trübem Wasser in 1 Cubikfuß 28 Gran Schlamm oder $\frac{1}{16600}$ des ganzen Gewichtes, und hiernach würden jährlich 53 Millionen Cubikfuß an Schlamm abfließen.

Anderer Flüsse zeigen einen noch größeren Gehalt an Schlamm oder überhaupt an festen Theilchen *), so daß derselbe sich bis zu $\frac{1}{200}$ und selbst $\frac{1}{100}$ steigert. Größere Ströme setzen die während ihres Laufes in sich aufgenommenen erdigen Theile, besonders in der Nähe ihrer Mündungen, ab, wo sie eine Hemmung ihres Laufes erfahren. Sind nun die Küsten an den Mündungen der Flüsse so gestaltet, daß die vom Flußwasser abgesetzten Theilchen von den Meeresfluthen nicht fortgeführt werden können, so entstehen die nach ihrer Aehnlichkeit mit dem griechischen Buchstaben Δ benannten Meeresdelta. Solche Küsten haben gewöhnlich eine concave Biegung. Nach Ritter zeigen vierzehn Hauptwassersysteme der Erde eine Deltabildung, von denen die wichtigsten sind: das Delta des Ganges, Indus, Euphrats, Nils, des Po, der Rhone, des Rheines, der Donau, des Mißissippi und Maranhan. Indem die von einem Strome fortgeführten Massen von Sand, Schlamm und Geschieben in der Mündung liegen bleiben, entsteht eine Flußinsel, welche den Strom in zwei Arme theilt. Diese Insel, welche sich fortwährend vergrößert, bildet das Delta.

Strömungen, s. Meer, Bd. IV. S. 1000.

Strom, elektrischer. Es giebt bekanntlich zwei ungleichartige, in gewisser Beziehung entgegengesetzte elektrische Zustände (s. d. Art. Electricität), bei deren gegenseitiger Ausgleichung dasjenige stattfindet, was man durch den Ausdruck „elektrischer Strom“ bezeichnet. Verbindet man die beiden Pole einer galvanischen Kette oder Säule (s. Art. Galvanismus) durch einen Metalldraht mit einander, so findet in jedem Punkte der Kette oder Säule eine Ausgleichung der entgegengesetzten elektrischen Zustände statt, die sich aber, so lange das Contactverhältniß der einzelnen Kettenglieder unverändert bleibt, in derselben Weise wieder erneuern. Der elektrische Strom ist nun eben die continuirliche Ausgleichung und Wiederherstellung entgegengesetzter elektrischer Zustände, indem die Kette oder Säule sich in raschem Wechsel entladet und wieder ladet. Während dieß geschieht, begegnen sich beide elektrische Zustände in entgegengesetzten Richtungen, indem von dem einen Pol her der positive, von dem andern aus der

*) D'Aubuisson, Géognosie. T. I. p. 58. Comment. Soc. Bonon. T. VI. p. 112. Journ. of Asiatic Soc. Calcutta 1832. Mars. Bibl. univ. 1834. p. 47. Edinb. New Phil. Journ. No. XXXV. p. 102.

negativ elektrische Zustand fortschreitet. Diese Fortpflanzungsweise der elektrischen Zustände durch ein leitendes System entspricht dem Begriffe eines elektrischen Stromes. — Verbindet man jeden Beleg einer geladenen Leidner Flasche mit einem Metalldrahte, und bringt man die freien Enden beider Drähte einander bis zur Berührung nahe, so findet auch hier eine Fortpflanzung entgegengesetzt elektrischer Zustände durch den Schließungsbogen, und demgemäß ein elektrischer Strom statt; nur daß hier in Folge einer stärkeren elektrischen Spannung die Entladung der Flasche (s. d. Art. Flasche, elektrische), d. h. die Ausgleichung der entgegengesetzt elektrischen Zustände auf den Belegen der Flasche noch vor der Berührung der Drahtenden, also zugleich durch eine Luftstrecke vermittelt wird. Die elektrische Strömung im Schließungsbogen hört auf, sobald die beiden Belege in ihren normalen oder elektrisch neutralen Zustand zurückgekehrt sind, während bei der galvanischen Kette oder Säule mit jeder Entladung durch den Schließungsbogen eine neue Ladung der Kette verbunden ist.

Die Stärke des Stromes, welchen eine geschlossene galvanische Kette oder Säule liefert, ist offenbar abhängig von der Geschwindigkeit, womit die Ausgleichung und Wiederherstellung der entgegengesetzt elektrischen Zustände stattfindet. Diese Geschwindigkeit ist aber wieder bedingt durch die sogenannte elektromotorische Kraft, d. h. durch die elektrische Spannungsdifferenz beider Pole, mit der sie wachsen wird, und dann auch durch den sogenannten Leitungswiderstand (s. d. Artikel Leiter der Elektrizität), mit dem sie abnehmen wird. Je größer die Geschwindigkeit ist, womit die Ausgleichung und Wiederherstellung der elektrischen Zustände sich vollzieht, desto größer ist die Stromstärke oder, wie man auch zu sagen pflegt, die Elektrizitätsmenge, welche in einer gewissen Zeit durch einen Querschnitt des Schließungsbogens geht.

Bezeichnet nun S die Stromstärke, E die elektromotorische Kraft und W den Leitungswiderstand im metallischen Schließungsbogen, und nimmt man der Wahrscheinlichkeit gemäß an, daß die Stromstärke der elektromotorischen Kraft direct und dem Leitungswiderstande umgekehrt proportional ist, so hat man mit Ohm *)

für die Stromstärke, $S = \frac{E}{W}$. Diese Formel charakterisirt das Gesetz, welches

unter dem Namen des Ohm'schen Gesetzes bekannt ist.

Der Widerstand, welchen ein Körper in seiner Masse der Herstellung und Ausgleichung der entgegengesetzt elektrischen Zustände leistet, hängt von seiner materiellen Beschaffenheit und seinen Dimensionen ab. Jedem Körper kommt gemäß seiner materiellen Beschaffenheit ein gewisser Leitungswiderstand zu, mit welchem seine eigenthümliche Leitungsfähigkeit für die Elektrizität natürlicher Weise im umgekehrten Verhältnisse steht. Nach dem, was im Art. Leiter der Elektrizität beigebracht ist, steht aber der Widerstand eines Metalldrahtes im directen Verhältnisse mit der Länge und im umgekehrten mit dem Querschnitt und dem eigenthümlichen Leitungsvermögen desselben. Bezeichnet man das letztere

*) Die galvanische Kette mathematisch bearbeitet. Berlin 1827. Schweigg. Journ. Bd. XXXVI. S. 137.

durch k , den Querschnitt durch q und die Länge des Drahtes durch l , so hat man $W = \frac{l}{qk}$.

Man kann nun einen Draht von dem Querschnitte q und dem Leitungsvermögen k durch einen anderen vom Querschnitte 1 und dem Leitungsvermögen 1 ersetzen, welcher denselben Widerstand wie jener leistet, falls nur seine Länge $L = \frac{l}{qk}$ ist.

In der Flüssigkeit, welche ein integrierendes Glied der galvanischen Kette bildet, findet gleichfalls ein Leitungswiderstand statt, der sich immer auf den Widerstand eines Drahtes von dem Querschnitte 1 , dem Leitungsvermögen 1 und einer bestimmten Länge λ reduciren läßt. Man kann also hiernach den Gesamtwiderstand einer galvanischen Säule immer zurückführen auf den Widerstand eines Metalldrahtes, z. B. eines Kupferdrahtes von bekannter Dicke und Länge. In diesem Sinne spricht man von dem reducirten Leitungswiderstande einer Kette oder Säule. Und das Ohm'sche Gesetz besteht darin, daß sich die Stromstärke direct wie die elektromotorische Kraft der Kette oder Säule und umgekehrt wie der reducirte Leitungswiderstand verhält.

Man habe eine einfache, geschlossene galvanische Kette. e sei der Werth der in dieser Kette vorhandenen elektrischen Spannungsdifferenz oder die elektromotorische Kraft, r der Widerstand in der Kette, R derjenige im Schließungsdrahte. Dann hat man die Stromstärke $S = \frac{e}{R + r}$.

Hat man n solcher einfachen Ketten und setzt dieselben zu einer galvanischen Säule zusammen, so ist die elektromotorische Gesamtkraft gleich ne . In demselben Verhältniß ist aber auch der Leitungswiderstand des Apparates gewachsen, weil jetzt in jedem Element ein Widerstand $= r$ zu überwinden ist. Der Gesamtwiderstand aller n Elemente ist also $= nr$. Daher die Stromstärke der Säule bei einem Schließungsdrahte mit dem Widerstande R ,

$$S' = \frac{ne}{R + nr}. \quad (1)$$

Verbindet man aber die n einfachen Ketten auf gleichnamige Weise zu einer Batterie (s. Art. Säule, galvanische), so bleibt die elektromotorische Kraft e unverändert; und dieß entspricht ganz dem Falle, wo man die Oberfläche des Elements (der einfachen Kette) n mal so groß annimmt, ohne sonst etwas zu verändern. Der Widerstand in der Kette wird dann aber n mal kleiner, weil der Querschnitt der Flüssigkeit bei gleicher Dicke n mal größer geworden ist. Man hat daher für diesen Widerstand $\frac{r}{n}$, und für die Stromstärke

$$S'' = \frac{e}{R + \frac{r}{n}} = \frac{ne}{Rn + r}. \quad (2).$$

Ist nun der Widerstand im Schließungsbogen sehr gering gegen den Wider-

stand in der Kette, so daß man R gegen r vernachlässigen kann, so giebt Formel

$$(1) S' = \frac{e}{r} = S \text{ und } (2) S'' = \frac{n e}{r} = n S.$$

Man sieht, daß in diesem Falle die Stromstärke der Säule nicht größer ist als die der einfachen Kette; es wird also unter dieser Bedingung durch Vermehrung der Elemente, welche man zur Combination einer galvanischen Säule benutzt, nichts gewonnen. Dagegen ist (unter derselben Bedingung) die Stromstärke nach (2) der Oberfläche des elektromotorischen Elements proportional, so daß eine Vergrößerung der Oberfläche der Erregerplatten auch eine Vermehrung der Stromstärke zur Folge hat.

Ist der Widerstand im Schließungsbogen sehr groß gegen den Widerstand in der Kette, so daß r gegen R vernachlässigt werden kann, so folgt aus (1)

$$S' = \frac{n e}{R} = n S, \text{ aus } (2) S'' = \frac{e}{R} = S.$$

In diesem Falle wird also durch eine Vergrößerung der Erregerplatten (Elektromotoren) der einfachen Kette nichts für die Stromstärke gewonnen, während diese letztere bei einer Säule nach (1) im Verhältniß zur Anzahl der zu ihrer Herstellung verwandten Elemente wächst. Ist also der Widerstand im Schließungsbogen sehr groß im Vergleich zu dem Widerstand in der Kette, wie dies stattfindet, wenn der elektrische Strom durch einen sehr langen und dünnen Draht oder durch Flüssigkeiten gehen soll, so muß man eine Säule anwenden, die aus einer größeren Anzahl von Elementen besteht.

Eine gegebene Menge von Material, z. B. von Zink und Kupfer, kann man auf verschiedene Weise zur Construction einer Säule verwenden. Man kann nämlich aus demselben eine größere Anzahl von Elementen mit kleinerer Oberfläche oder statt dessen eine kleinere Anzahl von Elementen mit größerer Oberfläche zu einer Säule combiniren. Es läßt sich aber auf Grund der vorstehenden Gesetze immer ermitteln, wie viel Elemente man zu einer Säule verwenden muß, um bei einer bestimmten Gesamtoberfläche und einem gegebenen Widerstande im Schließungsbogen den größten Effect zu erzielen.

Man bezeichne durch L den reducirten Leitungswiderstand im Schließungsbogen, durch f die Gesamtoberfläche der Säule und durch n die Anzahl der Elemente, welche diese Säule bilden. Denkt man sich nun das gesammte gegebene Material zur Bildung eines einzigen galvanischen Elements verwendet und bezeichnet dessen reducirten Leitungswiderstand durch λ , so wird in dem Falle, wo man aus demselben Material n Elemente bildet, der Widerstand in jedem Elemente gleich $\frac{n \lambda}{f}$ sein und der Gesamtwiderstand in der Säule gleich $\frac{n^2 \lambda}{f}$. Die

$$\text{Stromstärke der Säule ist } S = \frac{n e}{\frac{n^2 \lambda}{f} + L} = \frac{n e f}{n^2 \lambda + L f}.$$

Das Maximum der Stromstärke wird nun nach dieser Gleichung stattfinden, wenn man die Säule so einrichtet, daß $\frac{n^2 \lambda}{f} = L$, d. h. der gesammte Wider-

Rand der Säule gleich ist dem Widerstand des Schließungsbogens oder des ganzen übrigen die Säule schließenden Theils.

Aus der Gleichung $\frac{n^2 \lambda}{f} = L$ folgt $n = \sqrt{\frac{fL}{\lambda}}$. Substituiert man diesen Werth von n in der obigen Gleichung für S , so ergibt sich als Maximum der Stromstärke $S = \frac{e \sqrt{f}}{2 \sqrt{\lambda L}}$.

Mit Hülfe der Tangentenboussole (s. Art. Multiplicator, Bd. IV. S. 1133) läßt sich das Ohm'sche Gesetz auch experimental bestätigen. Eine constante Kette werde durch die Tangentenboussole geschlossen und die entstandene Ablenkung betrage 62° . Hierauf schalte man der Reihe nach gleich dicke Kupferdrähte von verschiedener Länge ein und beobachte die entsprechenden Ablenkungen. Die Länge des eingeschalteten Drahtes betrage einmal 5, das andere mal 10 Meter, die Ablenkung im ersten Falle $40\frac{1}{3}^\circ$ und im zweiten $28\frac{1}{2}^\circ$. Ist nun der Widerstand, welchen die Kette und die Boussole dem Strome entgegensetzen, gleich dem Leitungswiderstande eines Kupferdrahtes von der Dicke des eingeschalteten und der Länge x , so ist also die vom Strome zu durchfließende Länge im ersten Versuche x , im zweiten $x + 5$, im dritten $x + 10$. Die Widerstände in diesen drei Versuchen müssen sich also verhalten wie $x : x + 5 : x + 10$ und die entsprechenden Stromstärken wie $\frac{E}{x} : \frac{E}{x + 5} : \frac{E}{x + 10}$.

Da sich nun die Stromstärken wie die Tangenten der Ablenkungswinkel verhalten, so muß auch, wenn man den ersten Versuch mit dem zweiten combinirt, die Proportion bestehen $\frac{E}{x} : \frac{E}{x + 5} = \tan 62^\circ : \tan 40\frac{1}{3}^\circ$ oder $x + 5 : x = 1,880 : 0,849$, und bei Vergleichung des ersten mit dem dritten Versuche $\frac{E}{x} : \frac{E}{x + 10} = \tan 62^\circ : \tan 28\frac{1}{2}^\circ$ oder $x + 10 : x = 1,880 : 0,543$.

Aus der letzten Proportion ergibt sich $x = 4,06$, ein Werth, der nur wenig von demjenigen abweicht, welchen die erste Proportion für x liefert. Und eben so ist es, wenn man noch mehrere Versuche mit dem ersten combinirt. Die Stromstärken verhalten sich hiernach, dem Ohm'schen Gesetze gemäß, wirklich umgekehrt wie die Längen der vom Strome zu durchlaufenden Ketten. Durch eine Reihe derartiger Versuche ist Pouillet *) im Wesentlichen zu denselben Resultaten gelangt, welche Ohm auf einem anderen Wege herausgestellt hat. Dasselbe Gesetz läßt sich auch für eine zusammengesetzte Kette auf die vorige Weise bestätigen, nachdem zuvor der Widerstand jedes einzelnen Elements bestimmt, d. h. auf den Widerstand eines Kupferdrahtes von bestimmter Länge und Dicke zurückgeführt ist.

Zur Messung der Stromstärke hat man auch, wie dies von F e c h n e r geschehen ist, die sogenannte Schwingungsmethode benutzt, indem man die Anzahl der Schwingungen beobachtete, welche eine Magnetnadel unter dem Einfluß des

*) Vergl. Pogg. Ann. Bd. XV. S. 91; Bd. XLII. S. 281.

elektrischen Stromes in einer gewissen Zeit macht. Bekanntlich stellt sich jede Magnetnadel, welche frei aufgehängt ist, in die Richtung des magnetischen Meridians, und bringt man sie irgend wie aus dieser Lage heraus, so geht sie durch eine Reihe von Oscillationen wieder in dieselbe zurück. Die Kraft aber, welche die Nadel in diese Lage des Gleichgewichts zurückzuführen strebt, ist proportional dem Quadrate der Anzahl von Oscillationen, welche von der Nadel in einer gewissen Zeit vollbracht werden, oder, was dasselbe ist, umgekehrt proportional dem Quadrate der Anzahl Zeiteinheiten, welche zur Vollbringung derselben Zahl Schwingungen erforderlich sind. Nun weiß man auch, daß ein elektrischer Strom das Bestreben hat, eine Magnetnadel senkrecht auf seine Richtung zu stellen, daß folglich ein Strom, welcher in einer Richtung geht, die senkrecht auf den magnetischen Meridian ist, eine über ihm schwebende Magnetnadel in dieselbe Richtung zu stellen strebt, in welche der Erdmagnetismus sie stellt, daß also hier die Kraft des Stromes und die Kraft des Erdmagnetismus vereint, in einem Sinne, auf die Nadel wirken. Man lasse nun eine Magnetnadel erst allein unter der Wirkung des Erdmagnetismus oscilliren, zu welchem Ende man sie durch ein Eisenstäbchen, das man ihr nähert, dann aber wieder entfernt, aus ihrer gewöhnlichen Richtung bringt. Nach dem Schlage einer genauen Uhr oder eines Pendels zähle man die Anzahl von Zeiteinheiten, welche vergehen, bis eine gewisse Anzahl Oscillationen (von geringer Weite) vollbracht ist. Die Schwingungen der Magnetnadel verhalten sich dann wie die eines Pendels. Diese Beobachtung giebt nun das Maß der Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus auf die Nadel wirkt. Bringt man jetzt den Schließungsdraht einer galvanischen Kette so an, daß er den Gesetzen des Elektromagnetismus gemäß (s. d. Art.) die Nadel nicht aus ihrer gewöhnlichen Richtung ablenkt, d. h. senkrecht zum magnetischen Meridian, so wirken der Erdmagnetismus und der elektrische Strom in demselben Sinne richtend auf die Magnetnadel. Man lasse nun die Nadel wieder oscilliren und beobachte die Zeit, welche nöthig ist, um dieselbe Anzahl von Oscillationen zu vollenden wie vorhin, durch diese Beobachtung findet man das Maß der Kraft, mit welcher der elektrische Strom und der Erdmagnetismus zusammen auf die Magnetnadel wirken. Zieht man hiervon das vorher gefundene Maß der Kraft ab, mit welcher der Erdmagnetismus allein auf die Magnetnadel wirkt, so erhält man das Maß der Kraft, womit der Strom allein auf die Nadel wirkt. Die Nadel mache unter alleiniger Einwirkung des Erdmagnetismus m Schwingungen in 1 Minute. Das galvanische Element werde nach einander durch Drähte von der Länge l, l', l'' geschlossen (wo $l > l'$ und $l' > l''$ sei), und für jeden Draht werde die Anzahl n, n', n'' der Schwingungen bestimmt, welche die Nadel unter Mitwirkung des Stromes in 1 Minute macht. Sind die Stromstärken in diesen drei Fällen S, S', S'' und ist die Wirkung des Erdmagnetismus durch T bezeichnet, so hat man $T : T + S : T + S' : T + S'' = m^2 : n^2 : n'^2 : n''^2$. Hieraus läßt sich leicht das Verhältniß von $S : S'$ und das von $S' : S''$ ableiten. Es sei $S : S' = a : b$ und $S' : S'' = c : d$. Ist nun der Widerstand der Kette gleich dem eines Kupferdrahtes von der Länge x , so muß man haben $S : S' = x + l' : x + l$ und $S' : S'' = x + l'' : x + l'$, oder $a : b = x + l' : x + l$ und $c : d = x + l'' : x + l'$.

Bestimmt man nun aus der letzten Gleichung den Werth von x und setzt ihn in die nächst vorhergehende Gleichung, so findet man das Ohm'sche Gesetz bestätigt.

Theilt sich der Schließungsbogen einer Kette in zwei Arme a und a' (s. beistehende Figur), so wird dies auch mit dem elektrischen Ströme der Fall sein. Die Stromstärke in dem ungetheilten Stücke des Leiters sei $= s$, in dem Stücke $a = s'$ und $a' = s''$. Die auf den Querschnitt 1 reducirte Länge des Stückes a sei $= \lambda'$, die von a' gleich λ'' . Den Widerstand λ'' kann man auch dem eines Drahtes von der Länge λ' und dem Querschnitte q gleich setzen,

sofern nur $\lambda'' = \frac{\lambda'}{q}$ oder $q = \frac{\lambda'}{\lambda''}$ ist. Den Drähten a und a' läßt sich dann

ein einziger von der Länge λ' und dem Querschnitt $1 + q$ substituiren, den man wieder durch einen anderen von der Länge λ und dem Querschnitte 1 ersetzen kann,

falls nur $\lambda = \frac{\lambda'}{1 + q}$ oder $\frac{1}{\lambda} = \frac{1 + q}{\lambda'}$ ist. Setzt man in dieser Gleichung für q den obigen Werth ein, so hat man $\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda'} + \frac{1}{\lambda''}$. Nennt man

$\frac{1}{\lambda}$ die Leitungsfähigkeit des betreffenden Drahtes, welche, wie wir wissen, mit

dem Widerstande λ im umgekehrten Verhältnisse steht, so folgt aus der vorstehenden Gleichung, daß die beiden Aeste eines Leiters einem einzigen Leiter gleich gelten, dessen Leitungsfähigkeit der Summe der Leitungsfähigkeiten in den Aesten gleich ist.

Die Ströme s' und s'' gehen bei gleicher Länge λ' der Drähte durch die Querschnitte 1 und q , während der Hauptstrom s durch den Querschnitt $1 + q$ geht. Daher hat man auch $s : s' = 1 + q : 1$ und $s : s'' = 1 + q : q$ oder $s' = \frac{s}{1 + q}$ und $s'' = \frac{s q}{1 + q}$, oder endlich, wenn man für q seinen

obigen Werth setzt, $s' = \frac{\lambda'' s}{\lambda' + \lambda''}$ und $s'' = \frac{\lambda' s}{\lambda' + \lambda''}$. Durch Addition die-

ser Gleichungen erhält man $s = s' + s''$, d. h. der Hauptstrom ist gleich der Summe der Nebenströme.

Man denke sich in obiger Figur an der Stelle des Armes a' den Draht eines Galvanometers (Multiplicators) eingeschaltet, so daß also ein Theil des Stromes durch dasselbe hindurchgehen muß. Die elektromotorische Kraft der Kette sei durch E bezeichnet, die reducirte Länge der Kette und des Schließungsbogens mit Ausschluß der Theile a und a' durch L , die reducirte Länge des Stückes a durch λ' , die des Seitendrahtes nebst Multiplicatorgewinde durch λ'' , die Stromstärke im Seitendrahte und Multiplicatorgewinde durch s'' , endlich die Stromstärke in dem

ungetheilten Leiter durch s . Dann ist $s = \frac{E}{L + \lambda}$ und $s'' = s \frac{\lambda'}{\lambda' + \lambda''}$, oder, da

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda'} + \frac{1}{\lambda''} \text{ und } \lambda = \frac{\lambda' \lambda''}{\lambda' + \lambda''} \text{ ist, } s = \frac{E (\lambda' + \lambda'')}{L (\lambda' + \lambda'') + \lambda' \lambda''}, \text{ und}$$

$$s'' = \frac{E \lambda'}{L (\lambda' + \lambda'') + \lambda' \lambda''}.$$

Ist λ' gegen λ'' sehr klein, wie es der Fall ist, wenn a' aus einem sehr langen und dünnen Galvanometerdrahte besteht, so läßt sich $s'' = \frac{E \lambda'}{L \lambda'' + \lambda' \lambda''}$ setzen.

Wenn außerdem noch der Widerstand L in der Kette sehr groß ist, wie dies bei einer Säule der Fall ist, die aus einer größeren Anzahl von Elementen besteht, so folgt $s'' = \frac{E}{L} \cdot \frac{\lambda'}{\lambda''}$.

Die Stromstärke in dem Galvanometerdraht ist dann dem Quotienten $\frac{E}{L}$ und der Größe $\frac{\lambda'}{\lambda''}$ direct proportional.

Der Bruch $\frac{E}{L}$ ist hier die Stromstärke einer galvanischen Kette, wenn diese ohne Einschaltung eines fremden Widerstandes geschlossen wird, oder das Maximum ihrer Stromstärke in Rücksicht des in ihr waltenden Widerstandes.

Wendet man verschiedene galvanische Ketten von großem Widerstande an, so muß man dem Zwischenstücke a (i. obige Figur) verschiedene Längen geben, um denselben Ausschlag der Galvanometernadel zu bewirken. Bei einer anderen Kette

von der Stromstärke $\frac{E'}{L'}$ sei λ_1 die Länge des Zwischenstückes a , bei welcher derselbe Ausschlag der Galvanometernadel erfolgt wie bei der vorigen Kette mit der Stromstärke $\frac{E}{L}$. Dann hat man für den zweiten Fall $s_1 = \frac{E'}{L'} \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda''}$. Nun ist

auch $\frac{E}{L} \cdot \frac{\lambda'}{\lambda''} = \frac{E'}{L'} \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda''}$, also $\frac{E}{L} : \frac{E'}{L'} = \lambda_1 : \lambda'$, d. h. die Stromstärken dieser beiden Ketten verhalten sich umgekehrt wie die Längen von a bei gleichem Ausschlag der Galvanometernadel.

Bertina *) benutzte diese Methode, um die Stromstärken verschiedener galvanischer Ketten mit einander zu vergleichen, indem er in die Kette an die Stelle von a eine Quecksilberrinne einschaltete und in diese, in verschiedenen Abständen von einander, die Drahtenden des Galvanometers eintauchte. Der jedesmalige Abstand der beiden Drahtenden ist das obige λ' .

Eine Methode zur Bestimmung der elektromotorischen Kraft inconstanter galvanischer Ketten gab Poggenдорff **), welcher seiner Betrachtung eine Angabe der damals (in dieser Beziehung) gebräuchlichen Methoden voraussetzt. Nach Ohm verfährt man so, daß man die Stromstärke der zu untersuchenden galvanischen Kette für zweierlei Widerstände mißt, die entsprechenden Werthe beider Elemente in der Formel substituirt, und aus den so erhaltenen beiden Ausdrücken die elektromotorische Kraft berechnet. Sei e die elektromotorische Kraft der Kette,

*) Holger's Zeitschrift 6, 165 und 242. Pogg. Ann. Bd. LVII. S. 111.

**) Ann. Bd. LIV. S. 161.

r ein constanter Theil ihres Widerstandes, l und l' die respective bei den beiden Messungen hinzugefügten Theile des Widerstandes, so wie s und s' die entsprechenden beobachteten Stromstärken, so hat man: $s = \frac{e}{r + l}$ und $s' = \frac{e'}{r + l'}$,

und hieraus $r + l = \frac{s}{s - s'} (l' - l)$, $e = \frac{s s'}{1 - s'} (l' - l)$.

Mißt man die Intensitäten mittelst der Sinusbouffole, und sind α , α' die entsprechenden Winkel, so lassen sich hiernach die für die logarithmische Berechnung bequemen Ausdrücke bilden:

$$r + l = \frac{\sin \alpha'}{\cos \frac{1}{2} (\alpha + \alpha') \sin \frac{1}{2} (\alpha - \alpha')} \cdot \frac{(l' - l)}{2},$$

und

$$k = \frac{\sin \alpha \cdot \sin \alpha'}{\cos \frac{1}{2} (\alpha + \alpha') \sin \frac{1}{2} (\alpha - \alpha')} \cdot \frac{(l' - l)}{2}.$$

Handelt es sich nun um das Verhältniß zweier elektromotorischer Kräfte, so kann man, wie es von F e c h n e r geschehen, die beiden Ketten, deren elektromotorische Kräfte e , e' mit einander verglichen werden sollen, einmal in gleicher, und das andere Mal in entgegengesetzter Weise verbinden, und die beiden Ströme (s , d), der Summe und Differenz, messen. Man erhält dann, wenn man durch r , r' den Widerstand beider Ketten, also durch $r + r'$ den Widerstand des aus ihnen gebildeten Systemes bezeichnet, die Ausdrücke: $s = \frac{e + e'}{r + r'}$, $d = \frac{e - e'}{r + r'}$,

und daraus $\frac{e}{e'} = \frac{s + d}{s - d}$.

Eine dritte Methode beruht auf dem Satze, daß bei Gleichheit der Widerstände die elektromotorischen Kräfte sich direct wie die Stromstärken verhalten, und daß man diese Gleichheit mit beliebiger Annäherung erreichen kann, wenn man den in den Ketten vorhandenen Widerständen r , r' einen sehr großen Widerstand R hinzufügt. Es sind dann die Stromstärken: $s = \frac{e}{R + r}$, $s' = \frac{e'}{R + r'}$, und, wenn annähernd $R + r$ dividirt durch $R + r'$ gleich 1 ist, $s : s' = e : e'$.

Diese drei Methoden sind leicht auszuführen und brauchbar für Ketten von constanter Beschaffenheit, d. h. für thermo- und magneto-elektrische Ketten, so wie auch für galvanische mit zwei zweckmäßig gewählten Flüssigkeiten. Dagegen wird ihre Anwendung ungemein beeinträchtigt und beschränkt bei den gewöhnlichen, mit einer Flüssigkeit construirten galvanischen Ketten. Es ist nämlich bekannt (Art. G a l v a n i s m u s), daß bei diesen Ketten, in Folge des Einflusses der sogenannten Polarisation, die Stromstärke, vom Moment der Schließung an, sehr rasch und fortwährend abnimmt, so daß in dieser Periode gar keine Messung möglich ist. Erst nach geraumer Zeit, wenn die Stromstärke auf einen unbedeutenden Werth herabgesunken ist, tritt ein beständiger oder der Beständigkeit nahe kommender Zustand ein, auf den jedoch schon eine bloße Verlängerung oder Verkürzung des Schließungsdrahtes, ohne Oeffnung der Kette, einen störenden Einfluß ausübt, so daß man beim Zurückgehen auf die ursprüngliche Länge jenes Drahtes selten oder nie die anfangs bei derselben beobachtete Stromstärke erhält. —

Wenn aber auch durch Anwendung der Ohm'schen Methode auf inconstante Ketten Werthe für die elektromotorische Kraft erhalten werden, die hinreichen, verschiedene allgemeine Sätze der Theorie des Voltalismus mit befriedigender Annäherung darzuthun, so sind dies doch, wie Voggendorff bemerkt, stark getrübt, durch die Polarisation bedeutend geschwächte Werthe, welche keinen Aufschluß darüber geben, wie groß die elektromotorische Kraft für eine bestimmte galvanische Combination sein kann.

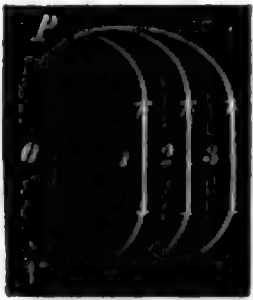
Die von Voggendorff benutzte Methode unterscheidet sich von den bisherigen dadurch, daß bei ihr nicht der Strom einer Kette gemessen wird, sondern bloß die Tendenz zu demselben.

Bei der galvanischen Säule läßt man den Satz gelten, daß die von den einzelnen Ketten erregten Ströme, je nach ihrer Richtung, sich addiren oder subtrahiren, ohne einander zu stören, daß also, in Bezug auf irgend eine dieser Ketten, alle übrigen sich als bloße Leiter verhalten. Bezeichnet man mit e' , e'' , e''' , die elektromotorischen Kräfte der die Säule zusammensetzenden Ketten, mit r' , r'' , r''' , ihre Widerstände, und mit r den Widerstand des gemeinschaftlichen Schließungsdrahtes, also mit $r + r' + r'' + r''' + \dots$ den gesammten Widerstand in der Säule, so sind die Stärken der partiellen Ströme:

$$\frac{e'}{r + r' + r'' + r''' + \dots}, \frac{e''}{r + r' + r'' + r''' + \dots}, \frac{e'''}{r + r' + r'' + r''' + \dots},$$

und ihre Summe $\frac{e' + e'' + e''' + \dots}{r + r' + r'' + r''' + \dots}$ ist der Ausdruck für die Stromstärke der Säule.

Auf demselben Satz beruht auch die Theorie der zusammengesetzten Kette, unter welcher Voggendorff diejenige galvanische Combination versteht, wo mehrere einfache Ketten wieder zur einfachen Kette verbunden sind. Auch hier kann man annehmen, daß der resultirende Strom aus der Superposition der partiellen Ströme hervorgeht, so daß in Bezug auf irgend eine der Ketten alle übrigen bloße Leiter sind. Es seien die gleich gerichteten Ketten 1, 2, 3, in P und N mit einander verknüpft, und diese Punkte noch durch den Schließungsdraht O verbunden, wie es die nebenstehende Figur, die eine Horizontalprojection des Systems vorstellen mag, verdeutlicht. Dann hat man zunächst folgende Größen zu unterscheiden:



In	0 ; 1 ; 2 ; 3 ;
Elektrom. Kraft	$e' ; e'' ; e''' ;$
Widerstand	$r ; r' ; r'' ; r''' ;$
Stromstärke	
wenn Nr. 1 wirkt	$s ; s' ; s'' ; s''' ;$
wenn Nr. 2 wirkt	$s_2 ; s'_2 ; s''_2 ; s'''_2 ;$
wenn Nr. 3 wirkt	$s_3 ; s'_3 ; s''_3 ; s'''_3 ;$
wenn alle wirken	$S ; S' ; S'' ; S''' .$

Nach dem obigen Grundsatz und unter Berücksichtigung der Richtungen der partiellen Ströme ergeben sich hieraus für die totalen Ströme in den einzelnen Zweigen des Systems die Ausdrücke:

$$\left. \begin{aligned} S &= s + s_2 + s_3 + \dots \\ S' &= s' - s'_2 - s'_3 - \dots \\ S'' &= s''_2 - s''_3 - s''_4 - \dots \\ S''' &= s'''_3 - s'''_4 - s'''_5 - \dots \end{aligned} \right\} \quad (I.)$$

Die Ermittlung der Werthe für die partiellen Ströme geschieht mittelst der Sätze: 1) daß die Stärke eines Stromes in jedem seiner Querschnitte gleich groß ist, der Strom mag verzweigt sein oder nicht; 2) daß in den Zweigen eines Stromes die Stromstärken sich umgekehrt verhalten wie die Widerstände, also die Producte aus den Stromstärken in die Widerstände, d. h. die elektromotorischen Kräfte einander gleich sind; 3) daß die gesammte elektromotorische Kraft einer Kette, da sie gleich ist dem Producte der Stromstärke in den gesammten Widerstand, auch gleich ist der Summe der in den einzelnen Längsstücken der Kette vorhandenen elektromotorischen Kräfte. Hiernach ergeben sich, wenn man annimmt, es wirke bloß die Kette Nr. 1, die drei Gleichungen:

$$s' = s + s'' + s''' + \dots \quad (1)$$

$$s r = s'' r'' = s''' r''' = \dots = h' \quad (2)$$

$$s' r' + h' = e' \quad (3)$$

Wird, Kürze halber, die Hülfsgröße $\varrho = \frac{1}{r} + \frac{r}{r'} + \frac{1}{r''} + \frac{1}{r'''} + \dots$

eingeführt, so erhält man für die Stärke der partiellen Ströme in den Wegen 0, 1, 2, 3 die Werthe:

$$s = \frac{e'}{r' \varrho r}; \quad s' = \frac{e' (r' \varrho - 1)}{r' \varrho r'}; \quad s'' = \frac{e'}{r' \varrho r''}; \quad s''' = \frac{e'}{r' \varrho r'''}$$

Analog findet man die partiellen Stromstärken für den Fall, daß bloß die Kette Nr. 2 wirkt:

$$s_2 = \frac{e''}{r'' \varrho r}; \quad s'_2 = \frac{e''}{r'' \varrho r'}; \quad s''_2 = \frac{e'' (r'' \varrho - 1)}{r'' \varrho r''}; \quad s'''_2 = \frac{e''}{r'' \varrho r'''}$$

Und wenn bloß die Kette Nr. 3 wirkt:

$$s_3 = \frac{e'''}{r''' \varrho r}; \quad s'_3 = \frac{e'''}{r''' \varrho r'}; \quad s''_3 = \frac{e'''}{r''' \varrho r''}; \quad s'''_3 = \frac{e''' (r''' \varrho - 1)}{r''' \varrho r'''}$$

Für die totalen Stromstärken ergeben sich dann, gemäß den Gleichungen (I.), folgende Werthe:

$$\left. \begin{aligned} S &= \frac{1}{\varrho r} \left(\frac{e'}{r'} + \frac{e''}{r''} - \frac{e'''}{r'''} + \dots \right) \\ S' &= \frac{1}{\varrho r'} \left(\frac{e' (\varrho r' - 1)}{r'} - \frac{e''}{r''} - \frac{e'''}{r'''} - \dots \right) \\ S'' &= \frac{1}{\varrho r''} \left(\frac{e'' (\varrho r'' - 1)}{r''} - \frac{e'}{r'} - \frac{e'''}{r'''} - \dots \right) \\ S''' &= \frac{1}{\varrho r'''} \left(\frac{e''' (\varrho r''' - 1)}{r'''} - \frac{e'}{r'} - \frac{e''}{r''} - \dots \right) \end{aligned} \right\} \quad (II.)$$

Da $\frac{1}{\varrho r'} + \frac{1}{\varrho r''} + \frac{1}{\varrho r'''} + \dots = 1 - \frac{1}{r \varrho}$, so folgt aus diesen Ausdrücken $S = S' + S'' + S''' + \dots$ (III.)

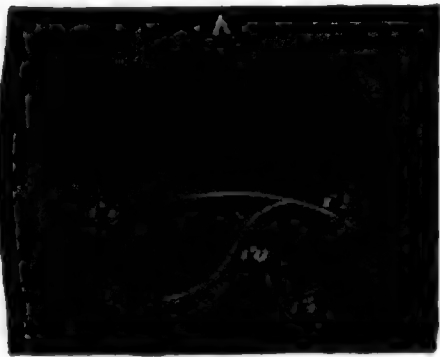
In Rücksicht des Schließungsdrahtes 0 und der darin stattfindenden Intensität S hat das System einen Widerstand R und eine elektromotorische Kraft E , für welche sich folgende Ausdrücke ergeben:

$$R = r + \frac{1}{e - \frac{1}{r}} \dots (IV.), \quad E = S \cdot R, \text{ und daraus } E = \frac{1}{e - \frac{1}{r}}$$

$$\left(\frac{e'}{r'} + \frac{e''}{r''} + \frac{e'''}{r'''} + \dots \right) \dots (V.)^*)$$

Zur Bestimmung der elektromotorischen Kraft inconstanter Ketten sind nur zwei der combinirt gedachten Ketten 1, 2, 3 . . erforderlich. Dadurch reduciren sich die Gleichungen (II.) auf folgende:

*) Hat man eine Drahtcombination von beistehender Art, welche bei k eine elektromotorische Kraft e einschließt, und in welcher die Widerstände zwischen den vier Zweigpunkten resp. durch $r, r_1, r_2, r_3, r_4, r_0$ bezeichnet sind, so kann die Aufgabe gestellt werden, die entsprechenden Intensitäten $s, s_1, s_2, s_3, s_4, s_0$ und den aus den Widerständen r_1, r_2, r_3, r_4, r_0 entspringenden Gesamtwiderstand R zu bestimmen. Nach einer Methode †) von Kirchhoff nimmt man für die einzelnen Continua, die in der Combination vorkommen, die algebraische Summe der Producte aus den Stromintensitäten in die Widerstände, und setzt diese Summe entweder gleich der Kraft e , oder, wenn in einem Continuum keine Kraft vorhanden ist, gleich Null. Der vorliegende Fall bietet drei Continua dar, und man hat folgende sechs Gleichungen.



$$\begin{aligned} s r + s_1 r_1 + s_2 r_2 &= e \\ s_1 r_1 + s_0 r_0 - s_3 r_3 &= 0 \\ s_2 r_2 - s_4 r_4 - s_0 r_0 &= 0 \\ s_0 &= s_1 - s_3 \\ s_4 &= s - s_2 \\ s_3 &= s - s_1. \end{aligned}$$

Aus diesen Gleichungen kann man durch Elimination sowohl die sechs obigen Intensitäten als auch R ableiten, da $s = \frac{e}{r + R}$ ist. Nach dieser Methode kann man, wenn

mehrere elektromotorische Kräfte in den verschiedenen Zweigen der Combination vorkommen, die Berechnung der partiellen Ströme jeder dieser Kräfte und deren Superposition ersparen, und die effectiven Stromstärken sogleich finden. So hat man für den oben betrachteten Fall, wo mehrere Ketten 1, 2, 3, . . durch einen gemeinschaftlichen Draht geschlossen, und also in einem Systeme mit zwei Zweigpunkten mehrere elektromotorische Kräfte enthalten sind, nach der dort gewählten Bezeichnung unmittelbar die Gleichungen:

$$\begin{aligned} S r + S' r' &= e' \\ S r + S'' r'' &= e'' \\ S r + S''' r''' &= e''' \\ S' + S'' + S''' + \dots &= S, \end{aligned}$$

woraus sich durch Elimination die oben S. 172 gegebenen Ausdrücke für die gesuchten Stromstärken ergeben.

†) Pogg. Ann. Bd. LXVII. S. 274.

$$S = \frac{1}{\varrho r} \left(\frac{e'}{r'} + \frac{e''}{r''} \right)$$

$$S' = \frac{1}{\varrho r'} \left(\frac{e' (\varrho r' - 1)}{r'} - \frac{e''}{r''} \right)$$

$$S'' = \frac{1}{\varrho r''} \left(\frac{e'' (\varrho r'' - 1)}{r''} - \frac{e'}{r'} \right)$$

Setzt man $S'' = 0$, substituirt für ϱ seinen Werth: $\frac{1}{r} + \frac{1}{r'} + \frac{1}{r''}$

und macht die nöthigen Reductionen, so ergibt sich: $e'' = \frac{r}{r + r'} e'$. . (VI.)

Bringt man diesen Werth von e'' in die beiden ersten Gleichungen, so erscheint $S' = S = \frac{e'}{r + r'}$ und durch Verbindung dieser Gleichung mit der vorigen: $e'' = r S$.

Durch die letzte Gleichung und die Gleichung (VI.) sind zwei Wege geboten, den Strom, welchen eine Kette zu erregen sucht, an seiner Entstehung zu hindern, und durch die Kraft, welche dazu nöthig ist, die elektromotorische Kraft der Kette, gleich viel, ob sie einen constanten oder inconstanten Strom liefern würde, numerisch zu bestimmen oder in aliquoten Theilen der compensirenden Kraft auszudrücken.

Man verbinde nun eine constante Kette von großer Kraft, z. B. eine Grove'sche, deren elektromotorische Kraft e' und Widerstand nach der Ohm'schen Methode bestimmt sind, mit der inconstanten Kette, deren elektromotorische Kraft e'' ermittelt werden soll, z. B. mit einer gewöhnlichen Zink-Kupferkette, in der Weise, daß man durch einen Draht a (s. nebenstehende Figur) die Zinkplatten beider Ketten, und durch einen Draht b die Zinkplatte der inconstanten Kette mit der Platinplatte der constanten verbindet. Der Draht c, der irgendwo ein empfindliches Galvanometer einschließt, führt von der Platinplatte zur Kupferplatte oder überhaupt zur negativen Platte der inconstanten Kette. Der Draht a und die Flüssigkeiten der constanten Kette liefern zusammen den Widerstand r' ; der Draht b gewährt den Widerstand r . Werden diese beiden Widerstände durch Verkürzung oder Verlängerung des



Drahtes b in das rechte Verhältniß zu einander gebracht, so wird in dem Draht c der Strom Null sein, was man daran erkennt, daß bei momentan er Schließung mit diesem Drahte die Nadel des Galvanometers durchaus keine Bewegung macht. Wird dann die Drahtlänge b oder der Widerstand r gemessen, so hat man für die elektromotorische Kraft e'' der inconstanten Kette $e'' = \frac{r}{r + r'} e'$.

Zur Messung des Drahtes b benutzte Poggenborff einen sogenannten Widerstandsmesser *).

*) Vergl. Ann. Bd. LII. S. 311.

Schaltet man in den Draht b , neben dem Widerstandsmesser, noch ein galvanometrisches Instrument ein, und mißt, nachdem in dem Drahte c der Strom auf Null gebracht ist, die Länge des Drahtes b und die Stärke des darin vorhandenen Stromes, so kann man auch zur Ermittlung der elektromotorischen Kraft die einfachere Gleichung $e'' = rS$ zu Grunde legen, nach welcher die elektromotorische Kraft der inconstanten Kette, für den Fall des Gleichgewichtes, gleich dem Producte aus dem Widerstand des Drahtes b und der Intensität des darin vorhandenen Stromes ist. Mißt man die Stromstärke durch die Sinusbouffole und ist α der Ablenkungswinkel der Nadel, so hat man die elektromotorische Kraft $e'' = r \cdot \sin \alpha$.

Das Maximum der Stromstärke einer einfachen constanten Kette ist gleich dem Quotienten $\left(\frac{e}{r}\right)$ ihrer elektromotorischen Kraft und ihres Widerstandes r .

Man braucht also nur, um dieses Maximum zu ermitteln, nach der Ohm'schen Methode (s. S. 169) die Werthe von e und r zu bestimmen. Ist aber e sehr groß im Vergleich zu r , so übt ein geringer Fehler in der Bestimmung von r einen beträchtlichen Einfluß auf den Werth des Maximums aus. Daher muß die Messung sehr genau sein.

Eine Methode, die relativen Maxima der Stromstärken zweier Volta'schen Ketten zu bestimmen, hat Voggendorff *) gegeben.

Nach den obigen Entwicklungen (S. 174) hat man in dem Schließungsdrahte eines Systemes von zwei nach dem Princip der einfachen Kette verbundenen Ketten (s. Fig. S. 174) die Stromstärke $S = \frac{1}{qr} \left(\frac{e'}{r'} + \frac{e''}{r''} \right)$. Denkt man

sich aber die Ketten in umgekehrter Richtung verbunden, so muß man einer der elektromotorischen Kräfte, z. B. e'' , das Minus-Zeichen geben; es wird dann

$S_1 = \frac{1}{qr} \left(\frac{e'}{r'} - \frac{e''}{r''} \right)$. Die Pfeile geben die Richtungen der partiellen

Ströme an, welche die beiden Ketten in den Drähten a , b , c (s. beistehende Figur) zu erregen suchen.

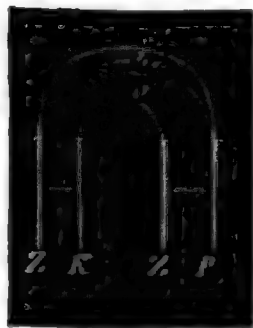
Addirt man nun die Formeln S und S_1 , zieht dann auch die zweite von der ersten ab, und dividirt die Summe durch die Differenz, so verschwinden aus dem Quotienten die Größen r (der Widerstand des Drahtes b) und q (die Summe aller reciproken Widerstände), und man erhält, wenn die Maxima der Stromstärken durch m' und m'' bezeichnet werden:

$$\frac{S + S_1}{S - S_1} = \frac{m'}{m''}.$$

Die Ermittlung des Verhältnisses der Strommaxima zweier Volta'schen Ketten erfordert hiernach weiter nichts, als daß man die Stromstärke in dem Drahte b für die beiden angegebenen Verbindungsweisen der Ketten mißt. Hierbei sind verschiedene Bedingungen wohl zu berücksichtigen **).

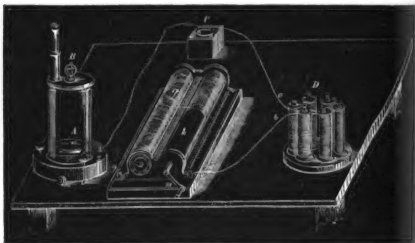
*) Ann. Bd. LV. S. 43.

**) Vergl. a. a. D. S. 52.



Ein bequemer Apparat zur Abänderung und Regulirung der Stromstärke (vermittelt eingeschalteter Widerstände) ist der Wheatston'sche Rheostat *), der auch zur Vergleichung der elektromotorischen Kräfte zweier Ketten und zur Bestimmung von Leitungswiderständen benutzt werden kann.

Die nebenstehende Figur zeigt diesen Apparat. g ist ein Cylinder von Mahagoniholz und h einer von Messing. Beide sind von gleichem Durchmesser und mit ihren Axen einander parallel. Auf dem Holzcylinder ist ein Schraubengang eingeschnitten, und an einem seiner Enden trägt derselbe einen Messingring, an welchem das eine Ende eines langen und sehr dünnen Drahtes befestigt ist; dieser wird auf den Holzcylinder gewickelt, so daß er den Schraubengang gänzlich füllt,



und dann mit seinem zweiten Ende an dem jenseitigen Ende des Messingcylinders befestigt. Zwei Federn, y und k, von denen die eine auf den Messingring des Holzcylinders und die andere auf das Ende des Messingcylinders h drückt, sind mit zwei Klemmschrauben verbunden, um die Drähte der Kette aufzunehmen. Die abnehmbare Handhabe m dient zum Drehen der Cylinder um ihre Axen. Steckt man sie auf den Cylinder h und dreht nach der Rechten, so wird der Draht vom Holzcylinder ab- und um den Messingcylinder aufgewickelt; steckt man sie dagegen auf den Cylinder g und dreht nach der Linken, so geschieht das Umgekehrte. Da die Windungen auf dem Holzcylinder isolirt und durch den Schraubengang von einander entfernt gehalten werden, so durchläuft der Strom auf diesem Cylinder den Draht seiner ganzen Länge nach; allein auf dem Messingcylinder, wo die Windungen nicht isolirt sind, geht der Strom sogleich von dem Punkt, wo der Draht den Cylinder berührt, zu der Feder k (rechts). Der wirkliche Theil der Drahtlänge ist also das veränderliche Stück, welches sich auf dem Holzcylinder befindet.

*) Phil. Transact. f. 1843, pt. II. Pogg. Ann. Bd. LXII. S. 499.

Bei dem von *Wheatstone* angewandten Instrumente halten die Cylinder sechs Zoll in der Länge und anderthalb Zoll im Durchmesser; vierzig Schraubengänge gehen auf einen Zoll, und der Draht, der von Messing ist, hat 0,01 Zoll im Durchmesser.

Zur Zählung der abgewickelten Windungen ist zwischen beiden Cylindern eine Scale angebracht, und die Bruchtheile einer Windung bestimmen sich mittelst eines Zeigers, der an der Axe des Cylinders g befestigt ist, und auf die Theilpunkte eines graduirten Kreises hinweist.

Da der Hauptzweck des Instruments darin besteht, den Strom auf irgend eine constante Stärke zu bringen oder darauf zu erhalten, so wurde es von *Wheatstone* Rheostat genannt.

R ist ein empfindliches Galvanometer (Rheometer) mit einer astatischen Nadel und einem Mikroskope zum Ablesen der Theilpunkte des Kreises. C ist der galvanische Apparat.

Zur Messung größerer Widerstände, z. B. des Widerstandes einer ausgedehnten telegraphischen Linie oder einer gewissen Strecke einer unvollkommen leitenden Flüssigkeit, benutzte *Wheatstone* noch die Vorrichtung D (s. obige Figur). Sie besteht aus sechs Rollen eines mit Seide besponnenen Kupferdrahtes von etwa $\frac{1}{200}$ Zoll im Durchmesser. Zwei dieser Rollen halten jede 50 Fuß Draht, die übrigen resp. 100, 200, 400 und 800 Fuß. Die beiden Drahtenden jeder Rolle sind oben befestigt an kurze dicke Drähte, die dazu dienen, alle Drahtrollen zu einer Länge zu vereinigen. Die beiden Drähte a, b bilden die Enden sämtlicher Rollen und verbinden sie mit der Kette. An der oberen Fläche eines jeden Cylinders ist eine doppelte Messingfeder befindlich, beweglich um ein Centrum, so daß ihre Enden nach Belieben auf die Enden der dicken Verbindungsdrähte gebracht oder von ihnen entfernt und bloß auf das Holz geschoben werden können. In der letzten Stellung muß der Strom durch die Drahtrollen gehen; allein in der ersten Stellung geht er durch die Feder und schließt den ganzen Widerstand der Drahtrolle von der Kette aus. Ruhen sämtliche Federn auf den Drähten, so ist der Widerstand aller Drahtrollen entfernt; dreht man aber die Federn gehörig, so läßt sich jedes Multiplum von 50 Fuß bis 1600 Fuß in die Kette bringen. — Zu demselben Behufe, nämlich zur Einschaltung größerer Widerstände, construirte *Eisenlohr* *) einen Regulator, um ihn anstatt der Vorrichtung D mit dem Rheostat in Verbindung zu bringen. Auf den Rändern eines Holzcylinders, in welchen man ringsum Vertiefungen eingedreht hat, sind Messingstreifen befestigt, von denen je zwei durch ein bewegliches Brückchen von starkem Messing verbunden werden können. In den Vertiefungen befindet sich ein feiner mit Seide übersponnener Argentandraht von $\frac{1}{100}$ Zoll Durchmesser, dessen beide Enden an die zwei Messingstreifen befestigt sind. Wenn alle Brückchen geschlossen sind, so geht der Strom ohne beträchtlichen Widerstand durch dieselben; ist aber eines der Brückchen offen, so muß er den darunter aufgewundenen Argentandraht durchlaufen, so daß er einen bedeutenden Widerstand erfährt. Der erste Argentandraht leistet einen Widerstand von 100 Windungen des Messingdrahtes an *Wheatstone's* Rheostat, der zweite einen von 200, der dritte von 300, der vierte von 500, der fünfte von 1000, der sechste von 2000, der siebente von

*) Lehrbuch der Physik. S. 526.

3000, der achte von 5000 Windungen des Messingdrahtes. Hiernach kann man durch Verbindung des Regulators mit dem Rheostat Widerstände von $\frac{1}{10}$ bis zu 12000 Windungen hervorbringen und also starke und schwache Ströme mit einander vergleichen.

Will man nun die elektromotorischen Kräfte E und E' zweier galvanischer Ketten mit einander vergleichen, so schaltet man den Rheostat und das Galvanometer in die eine Kette ein, und fügt mittelst des ersten einen solchen Widerstand hinzu, daß die Nadel genau auf 45° gebracht wird; dann ermittelt man die Drahtlänge, die vom Messingcylinder abgewickelt werden muß, um die Ablenkung der Nadel auf 40° zurückzuführen. Die Anzahl der Umgänge ist das Maß der elektromotorischen Kraft. Eben so verfährt man mit der anderen Kette. Die Stromstärken, welche den Ablenkungen von 45° und 40° entsprechen, seien resp. S und S' . Die elektromotorische Kraft der einen Kette werde durch E und ihr Widerstand durch R bezeichnet; die hinzugefügten Widerstände, durch welche die Ablenkungen von 45° und 40° bewirkt werden, seien r und r' . Dann ist

$$S = \frac{E}{R + r}, \quad S' = \frac{E}{R + r'}.$$

Für die zweite Kette hat man eben so, wenn E' ihre elektromotorische Kraft, R ihren Widerstand bezeichnet, und ϱ und ϱ' die hinzugefügten Widerstände sind, welche dieselben Ablenkungen von 45° und 40° herstellen, $S = \frac{E'}{R' + \varrho}$,

$$S' = \frac{E'}{R' + \varrho'}.$$

$$\text{Nun ist auch } \frac{E}{R + r} = \frac{E'}{R' + \varrho} \text{ und } \frac{E}{R + r'} = \frac{E'}{R' + \varrho'}, \text{ oder auch}$$

$$\frac{R + r}{E} = \frac{R' + \varrho}{E'} \text{ und } \frac{R + r'}{E} = \frac{R' + \varrho'}{E'}.$$

$$\text{Subtrahirt man die erste von der zweiten Gleichung, so folgt } \frac{E}{E'} = \frac{r' - r}{\varrho' - \varrho}.$$

Es verhalten sich also die elektromotorischen Kräfte E und E' wie die Unterschiede $r' - r$ und $\varrho' - \varrho$ oder wie die durch die Umdrehungen des Rheostats gemessenen Widerstände, welche in den beiden Fällen erforderlich sind, um die Ablenkung von 45° auf 40° herabzubringen.

Eine hiermit dem Princip nach übereinstimmende Methode gebrauchte früher Poggenдорff *), um mittelst eines Luftthermometers die elektromotorische Kraft hin- und herlaufender elektromagnetischer Ströme zu bestimmen.

Zur Bestimmung des Widerstandes oder der reducirten Länge einer galvanischen Kette mittelst des Rheostats hat Wheatstone **) mehrere Methoden angegeben. Wir führen hier beispielsweise eine dieser Methoden an. Man bringt ein Galvanometer und den Rheostat in die Kette, und adjustirt den letzteren so, daß die Nadel des ersteren auf einen bestimmten Punkt zu stehen kommt. Hierauf

*) Ann. Bd. LII. S. 526.

**) Vergl. Pogg. Ann. Bd. LXII. S. 526.

theilt man den durch den Galvanometerdraht gehenden Strom, indem man daneben einen gleichen Widerstand anbringt. Die Nadel wird dann zurückweichen. Nun ist die reducirte Länge, gemessen durch die Zahl von Umgängen des Rheostats, die aus der Kette gebracht werden muß, um die Nadel auf ihren früheren Punkt zurückzuführen, gleich der Hälfte des gesammten Widerstandes in dem unverzweigten Stück der ursprünglichen Kette. Wenn also die Widerstände des Galvanometerdrahtes, der Verbindungsdrähte und der Rheostatwindungen zuvor ermittelt sind, so ergibt sich der Widerstand der Kette leicht durch Abzug der ersteren von dem gemessenen Gesamtwiderstande. Ist nun E die elektromotorische Kraft, g der Widerstand des Galvanometerdrahtes und R der gesammte übrige Widerstand in der Kette, so wird die auf die Nadel wirkende Stromstärke sein:

$$S = \frac{E}{R + g}.$$

Fügt man dem Galvanometerdraht einen zweiten Draht von

gleichem Widerstande hinzu, so ist das eben so viel, als ob man für den ersteren einen Draht von doppeltem Querschnitte genommen hätte. Der Widerstand der Kette ist dann $= R + \frac{1}{2}g$. Da aber in Folge der Theilung des Stromes nur die eine Hälfte des Stromes auf die Nadel wirkt, so läßt sich diese Wirkung

vorstellen durch $\frac{\frac{1}{2}E}{R + \frac{1}{2}g}$. Soll nun die Nadel wieder auf denselben Punkt,

wie bei dem Strom S , zurückgeführt werden, so muß aus der Kette ein Widerstand $= \lambda$ fortgeschafft werden, der gleich dem halben Widerstande des unverzweigten

Stückes der ursprünglichen Kette ist. Es ist dann $S = \frac{E}{R + g} = \frac{\frac{1}{2}E}{R + \frac{1}{2}g - \lambda},$

also $\lambda = \frac{R}{2}$ und $R = 2\lambda$.

Um mittelst des Rheostats den Widerstand einer leitenden Flüssigkeit zu messen, bildet man eine Kette, deren elektromotorische Kraft E und Widerstand R

bekannt sind, also auch deren Stromstärke $S = \frac{E}{R}$. Man schaltet dann die be-

treffende Flüssigkeit, enthalten in einer kleinen Zelle mit zwei parallelen Platin-Elektroden, ein. Bezeichnet e die elektromotorische Gegenkraft und x den zu messenden Widerstand der Flüssigkeit, so hat man jetzt für die Stromstärke:

$$S' = \frac{E - e}{R + x}.$$

Der Werth von e kann nach der S. 178 ff. beschriebenen Methode ermittelt werden. Nimmt man dann mittelst des Rheostats und der Rollen so viel Wider-

stand $= \lambda$ fort, daß die Stromstärke wieder gleich S wird, so erhält man $\frac{E - e}{R + x - \lambda}$

$$= \frac{E}{R}, \text{ und hieraus } x = \lambda - \frac{e}{E} \cdot R.$$

Der Rheostat kann nach Wheatstone auch benutzt werden, um die Beziehungen zwischen den Ablenkungen der Galvanometernadel und den entsprechenden Stromstärken zu bestimmen. Bleibt nämlich die elektromotorische Kraft einer Kette constant, so steht die Stromstärke im umgekehrten Verhältniß mit dem

Widerstände oder der reducirten Länge der Kette. Ist nun, bei einer Ablenkung der Nadel von 1° , der gesammte Widerstand der Kette bestimmt, und vermindert man darauf vermittelst des Rheostats und der Widerstandsrollen den Widerstand successiv auf $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$ etc., so sind die entsprechenden Stromstärken 2, 3, 4, 5 etc. Hat man umgekehrt ermittelt, welche reducirten Längen a , b , c , d etc. aus der Kette entfernt werden müssen, damit die Ablenkung von irgend einem Grade um einen Grad steige, so sind die diesen Graden entsprechenden Kräfte: $\frac{1}{R}$,

$$\frac{1}{R - a}, \frac{1}{R - (a + b)}, \frac{1}{R - (a + b + c)}, \text{ etc.}$$

Ein ähnlicher Apparat, der wie der Wheatston'sche zur Regulirung des Leitungswiderstandes benutzt werden kann, ist das von Jacobi *) construirte Voltagometer. Später hat Jacobi ein sogenanntes Quecksilber-Voltagometer beschrieben, das als Widerstandsmesser einige besondere Vorzüge darbietet **).

W. Weber ***) hat die Messungen galvanischer Leitungswiderstände auf ein absolutes Maß zurückgeführt. Dabei ist derjenige Widerstand als Maßeinheit genommen, welchen ein geschlossener Leiter besitzt, in welchem die Maßeinheit der elektromotorischen Kraft die Maßeinheit der Stromintensität hervorbringt. Wollte man bei dieser Zurückführung an die räumlichen Dimensionen (Länge und Querschnitt) der galvanischen Leiter sich halten und dasjenige Metall wählen, welches zu solchen Leitern am geeignetsten ist und am häufigsten gebraucht wird, nämlich das Kupfer, so wäre unter der absoluten Maßeinheit des Leitungswiderstandes derjenige Widerstand zu verstehen, welchen ein kupferner Leiter besitzt, dessen Länge dem Längenmaß und dessen Querschnitt dem Flächenmaße gleich ist, wobei also, außer Längen- und Flächenmaß, der specifice Leitungswiderstand des Kupfers als Maßeinheit für die specifice Widerstände leitender Stoffe gegeben sein müßte. Dann wäre aber ein eigenes Grundmaß für specifice Widerstände nöthig, wodurch keine Ersparung in der Zahl der Grundmaße erlangt würde; und dazu käme noch der Uebelstand, daß weder das Kupfer noch ein anderes Metall ein geeigneter Stoff ist, um zur Feststellung eines Grundmaßes für specifice Widerstände zu dienen. Bei den Widerständen auch der Gemisch reinsten Metalle finden, wie Jacobi bemerkt, Unterschiede statt, welche durch eine Verschiedenheit der Dimensionen nicht erklärt werden können, so daß, wenn der eine Physiker seine Widerstandsmesser und Multiplicatoren auf Kupferdraht von 1 Meter Länge und 1 Millimeter Dicke bezieht, die anderen Physiker immer noch nicht die Ueberzeugung haben, ob sein Kupferdraht und der ihrige einen gleichen Widerstandscoefficienten besitzen, d. h. ob der specifice Widerstand des Kupfers von allen diesen Drähten gleich sei. Daher kann die Zurückführung der Messungen galvanischer Leitungswiderstände auf ein absolutes Maß nur dann eine wesentliche Bedeutung haben

*) Ballet. de l'Acad. de St. Petersb. T. X. No. 18. Pogg. Ann. Bd. LIX. S. 145.

**) Vergl. Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 173.

***) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 337.

und praktische Anwendung finden, wenn sie auf jene Weise geschieht, wobei keine anderen Maße als das für die elektromotorische Kraft und das für die Stromintensität vorausgesetzt werden. Für die elektromotorischen Kräfte und Stromintensitäten brauchen keine eigenen Grundmaße aufgestellt zu werden, wenn die magnetischen Maße für Stabmagnetismus und Erdmagnetismus und Raummaß und Zeitmaß gegeben sind. Unter der absoluten Maßeinheit der elektromotorischen Kraft kann man nach Weber diejenige elektromotorische Kraft verstehen, welche die Maßeinheit des Erdmagnetismus auf einen geschlossenen Leiter ausübt, wenn derselbe so gedreht wird, daß die von seiner Projection auf eine gegen die Richtung des Erdmagnetismus senkrechte Ebene begrenzte Fläche während des Zeitmaßes um das Flächenmaß zunimmt oder abnimmt. — Unter der absoluten Maßeinheit der Stromintensität ist die Intensität desjenigen Stromes zu verstehen, welcher, wenn er eine Ebene von der Größe des Flächenmaßes umkreist, die nämlichen Wirkungen nach elektromagnetischen Gesetzen in die Ferne ausübt, wie ein Magnetstab, welcher die Maßeinheit des Stabmagnetismus enthält.

Als Grundmaße kommen hierbei in Betracht das Längenmaß R und das Zeitmaß S ; als absolute Maße das Flächenmaß F und die Maßeinheiten des Stabmagnetismus M , des Erdmagnetismus T , der elektromotorischen Kraft E , der Stromintensität I und des Leitungswiderstandes W .

Ist nun eW der Widerstand irgend eines geschlossenen Leiters, eE die elektromotorische Kraft, welche auf diesen Leiter wirkt, und iI die Intensität des durch diese elektromotorische Kraft hervorgerufenen Stromes; so hat man zwischen den drei Größen w , e , i die Relation $w = \frac{e}{i}$, so daß, wenn die Zahlen e und i durch Messung bestimmt sind, unmittelbar auch die Zahl w dadurch gefunden wird, ohne daß es dazu einer besonderen Messung bedarf.

Wenn aber zweitens eE die elektromotorische Kraft ausdrückt, welche auf irgend einen geschlossenen (ebenen) Leiter wirkt, fF den Flächenraum der von diesem Leiter umschlossenen Ebene, tT den Erdmagnetismus, von welchem jene elektromotorische Kraft herrührt, und sS den Zeitraum, in welchem die Ebene jenes Leiters durch Drehung aus einer mit der Richtung des Erdmagnetismus parallelen in eine darauf senkrechte Lage in solcher Weise übergeführt wird, daß die von seiner Projection auf eine gegen diese Richtung des Erdmagnetismus senkrechte Ebene begrenzte Fläche, mit der Zeit proportional, während des Zeitmaßes um das Flächenmaß wächst; so hat man zwischen den vier Zahlen e , f , t , s die Relation $e = \frac{ft}{s}$, so daß, wenn die drei Zahlen f , t , s durch Messung bestimmt sind, mittelbar auch die Zahl e dadurch gefunden wird, ohne daß es dazu einer besonderen Messung bedarf.

Wenn drittens iI die Stromintensität in irgend einem geschlossenen (ebenen) Leiter ausdrückt, fF den Flächenraum der von diesem Leiter umschlossenen Ebene und mM den Magnetismus eines Stabes, welcher an die Stelle jenes Leiters gesetzt (seine magnetische Axe senkrecht gegen die Ebene des Leiters) dieselben Wir-

lungen nach elektromagnetischen Gesetzen in die Ferne ausübt, wie jener durchströmte Leiter; so hat man zwischen den drei Zahlen i , f , m folgende Relation: $i = \frac{m}{f}$, so daß, wenn die Zahlen f und m durch Messung bestimmt sind, mittelbar auch die Zahl i dadurch gefunden wird, ohne daß es dazu einer besonderen Messung bedarf.

Aus diesen drei Relationen ergibt sich aber $w = \frac{e}{i} = \frac{f f t}{s m}$, so daß, wenn die vier Zahlen f , s , m , t durch Messung bestimmt sind, mittelbar auch die Zahl w dadurch gefunden wird. Die Zahl f wird durch Ausmessung des Flächenraumes der vom Leiter umschlossenen Ebene, die Zahl s durch Zeitmessung gefunden, und es bleiben also nur die Zahlen m und t übrig, welche durch eine Messung des Stabmagnetismus nach der von Gauß *) gegebenen Vorschrift gefunden werden.

Uebrigens zeigt We ber (a. a. O. S. 341 ff.), daß der Werth der Zahl w unabhängig von allen Aenderungen der gegebenen Maße ist, so lange dadurch keine Aenderung im Geschwindigkeitsmaße verursacht wird. Wenn aber das letztere n mal größer oder kleiner genommen wird, so wird damit zugleich auch die Maßeinheit für galvanische Leitungswiderstände n mal vergrößert oder verkleinert.

Aus dem galvanischen Leiter, dessen Widerstand gemessen werden soll, werden nun zwei kreisförmige Ringe A und B gebildet, welche, wie die nebenstehende Figur zeigt, zusammenhängen. Der ganze Leiter bildet eine in sich zurücklaufende Linie, die in einer Ebene liegt, und die die Mittelpunkte beider Kreise verbindende Gerade fällt mit der Richtung des Erdmagnetismus zusammen. T bezeichne die Stärke des Erdmagnetismus, wie sie nach absolutem Maße ausgedrückt aus



magnetometrischen Messungen gefunden wird, r bezeichne die der Einfachheit wegen einander gleich gesetzten Halbmesser der beiden Kreise. Projicirt man nun den Kreis A nach der Richtung des Erdmagnetismus A B auf eine gegen A B senkrechte Ebene, so ist der Flächenraum der von der Projection begrenzten Ebene = 0. Die Biegsamkeit der die beiden Kreise verbindenden Drähte möge aber gestatten, den Kreis A zu drehen und gegen A B senkrecht zu stellen, wo dann der Flächenraum der von derselben Projection begrenzten Ebene = πr^2 wird. Diese Drehung geschehe in einer kurzen Zeit s auf solche Weise, daß der Flächenraum der von der Kreisprojection begrenzten Ebene in dieser Zeit von 0 bis πr^2 gleichförmig wachse. Es ergibt sich dann nach magnetoelektrischen Gesetzen eine elektromotorische Kraft, welche der Erdmagnetismus T auf den gedrehten kreisförmigen Leiter A während der Zeit s ausübt, und welche nach dem Früheren durch e

*) Intensitas vis magneticae terrestria ad mensuram absolutam revocata. Pogg. Ann. Bd. XXVIII. S. 241 u. 591. S. auch Art. Magnetismus und Magnetismus der Erde.

ausgedrückt wird, wo die Zahl e durch die Gleichung $e = \frac{\pi r^2}{s} \cdot T$ bestimmt

ist. Dieser Strom, der auch durch den Kreis B geht, wirkt von hier aus auf eine entfernte Magnetnadel in C, deren Drehungsaxe, auf der Richtung des Erdmagnetismus senkrecht, in der Ebene des Kreises liegt. C liege in der verlängerten AB, d. h. in der die Centra der Kreise A und B verbindenden Linie. Nach elektromagnetischen Gesetzen ergiebt sich nun, daß das von dem durch den Kreis B gehenden Strom auf die Nadel in C ausgeübte Drehungsmoment dem von einem Magnetstabe ausgeübten Drehungsmomente gleich ist, welcher im Mittelpunkte des Kreises B so aufgestellt würde, daß seine magnetische Axe auf der Kreisebene senkrecht wäre, wenn sein nach absolutem Maße ausgedrückter Magnetismus $M = \pi r^2 i$ ist.

Weber zeigt nun ferner, daß die nach absolutem Maße ausgedrückte elektromotorische Kraft eE , für welche nach dem Obigen $e = \frac{\pi r^2}{s} \cdot T$

ist, in dem ganzen geschlossenen Leiter, dessen Raum gemessen werden soll, einen Strom hervorbringt, dessen Intensität nach absolutem Maße durch iJ ausgedrückt wird, wo $i = \frac{R^2}{\pi^2 r^2} \cdot \frac{t}{s} \cdot T\alpha$ ist. Der gesuchte Widerstand des ganzen ge-

schlossenen Leiters wird nach der erklärten Maßeinheit durch wW ausgedrückt, wo die Zahl durch das Verhältniß der gefundenen Zahlen e und i bestimmt ist, nämlich $w = \frac{e}{i} = \frac{\pi^2 r^4}{R^2 t \alpha}$. In dieser Formel bedeutet R die Distanz BC (s. obige Figur), α die Elongation der in Schwingung gesetzten Nadel und t die Schwingungsdauer.

Die Messung eines galvanischen Leitungswiderstandes nach absolutem Maße läßt sich hiernach ausführen, wenn man durch Beobachtungen erstens die Zahl α gefunden hat, welche die Elongationsweite der Nadel in Theilen des Halbmessers giebt, zweitens die Zahl $\frac{r}{R}$, welche den Halbmesser der beiden Kreise in Theilen

der Entfernung BC giebt, drittens die Geschwindigkeit $\frac{r}{t}$, mit welcher der Halb-

messer jener Kreise während einer Schwingung der Nadel durchlaufen wird. Der Halbmesser r der beiden Kreise, die Entfernung $BC = R$ des Kreises B von der Nadel in C und die Schwingungsdauer t der Nadel können leicht mit großer Genauigkeit gemessen werden. Anders verhält es sich aber mit der Elongationsweite der Nadel α , die gewöhnlich so klein ist, daß sie nicht beobachtet werden kann. Aus diesem Grunde muß man von der vorgeschriebenen Anordnung bei der wirklichen Ausführung der Beobachtungen etwas abweichen. Um einen zum Behufe der Beobachtung hinreichend großen Werth von α zu erhalten, ist es erstens erforderlich, daß die Magnetnadel, auf welche der Kreisstrom B wirken soll, statt in einer großen Entfernung $BC = R$, im Mittelpunkte des Kreisstromes B selbst aufgestellt werde, wo die Wirkung desto größer ist, je kleiner der Halbmesser r in Vergleich mit R ist. Nur muß dabei die Länge der Nadel viel kleiner sein als

der Durchmesser des Kreises, damit die eigenthümliche Vertheilungsweise des Magnetismus in der Nadel nicht genauer in Rechnung gebracht zu werden braucht. Dann ist es nöthig, daß die beiden Kreise, statt aus einer Umwindung, aus vielen Umwindungen des Leiters zusammengesetzt werden, wodurch sie sich in Ringe von größerem Querschnitt verwandeln. Bezüglich der Beobachtungsbreihen verweisen wir auf die citirte Abhandlung (S. 348 ff.).

Um eine auf absolutes Maß zurückführbare elektromotorische Kraft darzustellen, läßt sich statt des Erdmagnetismus auch der Stabmagnetismus benutzen, indem man den anzuwendenden Magnetstab im Mittelpunkte des vom inducirten Leiter gebildeten Ringes aufstellt. Dieser Stab kann dann entweder feststehen und der Ring um seinen auf der magnetischen Axe des Stabes senkrechten Durchmesser hin und her gedreht werden, oder umgekehrt um diesen Durchmesser hin und her drehbar sein, während der Ring feststeht. Im letzteren Falle kann man eine starke im Mittelpunkte des Ringes aufgehängene schwingende Magnetnadel benutzen. Der vom Stabmagnetismus in dem geschlossenen Leiter inducirte elektrische Strom wirkt aber nach dem Principe der Dämpfung (in Folge elektromagnetischer Gesetze) wieder rückwärts auf die schwingende Nadel und bringt eine Abnahme der Schwingungsbogen hervor, welche mit großer Genauigkeit beobachtet werden kann, und die Intensität dieses Stromes läßt sich aus diesen Beobachtungen ebenfalls nach absolutem Maße bestimmen. Es kann dann der ganze Leiter, dessen Widerstand gemessen werden soll, zur Bildung eines einzigen Ringes, welcher zugleich als Inductor und Multiplikator dient, benutzt werden. Von Bedeutung ist hierbei, daß der Magnetismus der im Mittelpunkte des Ringes schwingenden Nadel recht stark sei, um eine starke Dämpfung zu bewirken, und daß zugleich die Länge der Nadel im Vergleich mit dem Durchmesser des Ringes recht klein sei. Durch die Beobachtung der Schwingungsbogen der im Mittelpunkte des Ringes schwebenden Magnetnadel kann die Stärke der elektromotorischen Kraft, welche auf den geschlossenen Leiter wirkt, und durch deren Abnahme die Intensität des von dieser elektromotorischen Kraft in dem geschlossenen Leiter hervorgebrachten Stromes bestimmt werden *).

Jacobi hat, wie Weber bemerkt, auf die Wichtigkeit hingewiesen, welche die Einführung eines bestimmten, von allen Physikern angenommenen Maßes für die Leitungswiderstände, wie auch für die elektromotorischen Kräfte und Stromintensitäten, gegenwärtig habe, wo so viele galvanische Untersuchungen mit so mannichfaltigen Instrumenten gemacht werden, deren Vergleichung unter einander oft von großem Interesse ist. Auch hat Jacobi zu diesem Zwecke für den Leitungswiderstand ein Grundmaß in einem Kupferdrahte vorgeschlagen, welchen er mehreren Physikern, die sich mit galvanischen Messungen beschäftigen, mit der Aufforderung zugesandt hat, diesen Widerstands-*Etalon* mit ihren Widerstandsmessern zu vergleichen und ihre Messungen künftig nach diesem Messer anzugeben. Dieser Widerstands-*Etalon* ist ein Kupferdraht von 7619 Millimeter Länge und $\frac{2}{3}$ Millimeter Dicke, welcher $22449\frac{3}{10}$ Milligramm wiegt. Dieses von Jacobi eingeführte Widerstandsmaß wird keineswegs durch das von Weber erörterte absolute Maß verdrängt; denn es ist nicht möglich, jeden Widerstand

*) Die weitere Ausführung s. in Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 353.

nach diesem absoluten Maße unmittelbar zu bestimmen, während jeder Widerstand mit dem Jacobi'schen Maße unmittelbar verglichen werden kann. Es ist aber von Wichtigkeit, alle nach dem Jacobi'schen Maße gemachten Annahmen auf absolutes Maß reduciren zu können. Eine solche Vergleichung ist zu diesem Zwecke von Weber ausgeführt worden und hat ergeben, daß diese beiden Leitungswiderstände (von W. u. Z.) sich nahe wie 32 : 1 oder genauer wie 19000 : 598 verhalten.

Wir wollen nun hier noch die Entwicklung einer Formel folgen lassen, welche W. Weber *) für die Messung starker galvanischer Ströme nach absolutem Maße gegeben hat.

Man denke sich einen galvanischen Strom durch einen großen und starken kupfernen Ring in der Ebene des magnetischen Meridians geleitet. Die Zuleitung des Stromes zum Ringe geschehe durch einen langen dicken kupfernen Stiel, die Ableitung durch eine kupferne Röhre, welche den Stiel umgiebt, ohne ihn zu berühren. Eine Magnetsadel werde so aufgestellt, daß sie von allen Theilen des Ringes gleich weit absteht; die Mitte der Nadel liege in der Are des Ringes entweder im Mittelpunkt selbst oder nahe dabei, so daß der Strom fast ganz um die Nadel herumgeht.

A in nebenstehender Figur sei der Mittelpunkt des Ringes, AB die Are desselben, AC = y sein Halbmesser; die Intensität des Stromes heiße g. In der Are, und zwar in der Entfernung AB = x vom Mittelpunkte sei ein nordmagnetisches Element μ . Geht der Strom g durch das Ring-



element $y d\varphi$ im Punkte C (von hinten nach vorn in der Figur), so wird μ von B nach D senkrecht gegen die durch B und durch das Element bei C gelegte Ebene bewegt. Die Größe dieser bewegendenden Kraft ist dem Producte $g \mu y d\varphi$ direct und dem Quadrate $(x^2 + y^2)$ des Abstandes CB umgekehrt proportional, oder kann durch $\frac{f g \mu y d\varphi}{x^2 + y^2}$ dargestellt werden, wo f einen constanten Factor bezeichnet. Zerlegt man diese Kraft BD nach der Richtung der Ringare durch Multiplication jenes Werthes mit $\frac{y}{\sqrt{(x^2 + y^2)}}$, wodurch man

$\frac{f g \mu y^2 d\varphi}{(x^2 + y^2)^{3/2}}$ erhält, so ergiebt sich als Resultante der Kraft, mit welcher alle Elemente $y d\varphi$ des Kreisstromes das Theilchen μ nach der Richtung der Are zu bewegen suchen,
$$= \frac{2 \pi f g \mu y^2}{(x^2 + y^2)^{3/2}}.$$

Die Kräfte senkrecht gegen die Richtung der Are heben einander auf.

Wenn man die so eben bestimmte Kraft mit derjenigen vergleicht, welche ein unendlich kleiner Magnet, dessen Are mit der Richtung AB zusammenfällt und

*) Pogg. Ann. Bd. LV. S. 27 ff.

dessen Moment M ist, auf die Entfernung $CB = \sqrt{(x^2 + y^2)}$ auf das in B befindliche Theilchen μ ausüben würde, $= \frac{2 M \mu}{(x^2 + y^2)^{3/2}}$ *), so erkennt man,

daß beide Ausdrücke identisch werden, wenn $M = \pi f g y^2$ gesetzt wird. Nennt man nun, der Analogie mit dem magnetischen Moment M gemäß, $\pi f g y^2$ das Moment des galvanischen Kreisstromes, und bezeichnet dasselbe mit G , so läßt sich G durch Ablenkungsversuche nach absolutem Maße eben so wie M bestimmen. Man bezeichne mit v die beobachtete Ablenkung einer Magnetnadel in A , mit v' die beobachtete mittlere Ablenkung derselben in B und in B' (wo $B'A = BA$) und setze $y = R$, $\sqrt{(x^2 + y^2)} = R'$, so ergibt sich

auf bekannte Weise **): $\text{tang. } v = \frac{L}{R^3} + \frac{L'}{R'^3}$, $\text{tang. } v' = \frac{L}{R^3} + \frac{L'}{R'^3}$, folglich durch Elimination von L' :

$$L = \frac{R^3 \text{ tang. } v - R'^3 \text{ tang. } v'}{R^2 - R'^2} = \frac{2G}{T},$$

oder

$$G = \frac{1}{2} \cdot \frac{R^3 \text{ tang. } v - R'^3 \text{ tang. } v'}{R^2 - R'^2} \cdot T = \pi f g R^2.$$

Hieraus ergibt sich die gesuchte Intensität g des Stroms, wenn man die Einheit festsetzt, welche ihrer Bestimmung zu Grunde gelegt werden soll. Nimmt man diejenige Stromintensität zur Einheit, wobei der Strom, wenn er in der Ebene die Flächeneinheit umläuft, in der Ferne dieselbe Wirkung, wie die Einheit des freien Magnetismus ausübt, so wird dadurch der unbekannte constante Factor f bestimmt. Dann ist nämlich gleichzeitig die Intensität $g = 1$, das Moment $G = 1$ und die Fläche $\pi R^2 = 1$, woraus der Werth von f folgt: $f = 1$, und daher $g = \frac{L T}{2 \pi R^2}$, worin L aus

den gemessenen Größen v , v' , R , R' berechnet werden kann.

Noch einfacher wird diese Bestimmung der absoluten Intensität des galvanischen Stromes, wenn die Länge der Nadel als verschwindend gegen den Durchmesser des Kreises betrachtet werden darf, weil man sich dann in der Reihenentwicklung für $\text{tang. } v$ auf das erste Glied beschränken kann. So ist $\text{tang. } v = \frac{L}{R^3}$ oder $L = R^3 \text{ tang. } v$. Man braucht dann nur die Ablenkung v , wenn die Nadel im Mittelpunkte des Kreises sich befindet, zu messen, und erhält $g = \frac{1}{2 \pi R T \text{ tang. } v}$.

Diese Näherungsformel kann nach Weber auch bei feineren Messungen noch als genügend betrachtet werden, wenn die Länge der Nadel den vierten oder fünften Theil des Ringdurchmessers nicht übersteigt. —

*) Vergl. Art. Magnetismus, Bd. IV. S. 772 ff.

**) Vergl. Art. Magnetismus, Bd. IV. S. 765 — 769 u. S. 775.

Es ist in diesem Artikel bereits hervorgehoben, daß die sogenannte galvanische Polarisation *), welche durch die chemische Thätigkeit des elektrischen Stromes (in Folge der ausgeschiedenen Gase) veranlaßt wird, rücksichtlich der Stromstärke als Widerstand in Betracht kommt, insofern sie eine neue elektromotorische Kraft einführt, die der ursprünglichen durch die Berührung der Kettenglieder bedingten entgegengesetzt ist. Die elektromotorische Kraft eines Volta'schen Kreises ist aber immer gleich der algebraischen Summe aller elektromotorischen Kräfte in demselben, die Polarisationen mit eingerechnet **). — Venz und Saweljew gebrauchten ***)) zur Messung der galvanischen Polarisation einen Wheatston'schen Rheostat. Man denke sich ein Voltameter (Zersetzungszelle), bei welchem zwei gleichartige Platinplatten in verdünnte Schwefelsäure gesenkt sein mögen und an welchem die Polarisation gemessen werden soll, mit einem Galvanometer und dem Rheostat (Agometer) in eine Daniell'sche oder andere constante Kette leitend eingeführt. Sobald diese Kette geschlossen, werde der Strom vermittelt des Rheostats auf eine bestimmte Stärke s , der eine bestimmte Ablenkung der Magnetnadel entspricht, gebracht und die hierzu nöthige Drahtlänge a am Rheostat abgelesen. Dann werde eine zweite Stromstärke s' , die einer bestimmten geringeren Ablenkung der Galvanometernadel entspricht, vermittelt eines Rheostatwiderstandes a' erhalten, und hierauf wieder der Strom s . Nun nehme man die Zersetzungszelle aus der Kette heraus, und bringe den Strom anfangs wieder auf s , dann auf s' vermittelt der Rheostatwiderstände a_0 und a'_0 , und zuletzt wieder auf s . Aus den beiden Rheostatangaben a , die für den Strom s bei eingeschalteter Zersetzungszelle gelten, kann man das Mittel nehmen, ebenso aus den beiden Angaben a_0 ohne Zersetzungszelle. Bezeichnet man nun den Widerstand sämtlicher Theile der Kette, außer der Zersetzungszelle, durch L , den der Zelle durch λ , die elektromotorische Kraft der Kette durch E , und die Polarisation in

$$\text{der Zelle durch } p, \text{ so hat man } s = \frac{E}{L + a_0}, s' = \frac{E}{L + a'_0}; s = \frac{E - p}{L + \lambda + a},$$

$$s' = \frac{E - p}{L + \lambda + a'}.$$

Durch Combination beider Werthe von s und beider Werthe von s' ergibt sich $a_0 = \lambda + a + \frac{p}{s}$, $a'_0 = \lambda + a' + \frac{p}{s'}$, und $a'_0 - a_0 = (a' - a) + p \left(\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} \right)$.

Setzt man hierin $a'_0 - a_0 = A_0$ und $a' - a = A$, so ist $p = \frac{ss'}{s - s'} (A_0 - A)$.

Die eine Platinplatte in der Zersetzungszelle, welche als sogenannte Anode dient, ist durch Sauerstoff, die andere (Kathode) durch Wasserstoff polarisirt. P ist dann die Summe beider Polarisationen. Daniell und Wheat-

*) Vergl. Art. Galvanismus, Bd. III. S. 380 ff.

**) Pogg. Ann. Bd. LXVII. S. 828.

***)) Pogg. Ann. Bd. LXVII. S. 497.

stone *) fanden in diesem Sinne die Kraft der Polarisation = 2,49, wenn die elektromotorische Kraft einer Daniell'schen Kette als Einheit genommen wird. Auf die elektromotorische Kraft einer Grove'schen Kette bezogen ergibt sich die Zahl 1,39, wo die Kraft der Platinginkette nach Poggendorff's Messungen gleich $\frac{16}{9}$ von der der Kupferzinkkette angenommen ist. Poggendorff **) fand die Polarisation im Verhältniß 42 : 32 größer als die Kraft der Grove'schen Kette. Diese Kraft als Einheit gesetzt giebt für die Polarisation 1,31. Lenz und Saweljev fanden für die gesammte Polarisation 5,46, die Kraft der Platinginkette 4,28, also das Verhältniß beider Größen = 1,28. Nach Robinson ***) hat man die Zahl 1,22 und nach Svanberg ****) 1,21. Weniger Uebereinstimmung herrscht bezüglich der Polarisation des Platins durch die einzelnen Gase: Sauer- und Wasserstoff *****). Um die Polarisation durch jedes der beiden Gase allein zu finden, tauchten Lenz und Saweljev die Platten in concentrirte Salpetersäure, wo dann an der Anode eine Entwicklung von Sauerstoff stattfand, während an der Kathode der Wasserstoff absorbiert wurde. Hier giebt also p die Polarisation des Platins in Sauerstoff, und wenn dieses von dem obigen Gesamtwerthe abgezogen wird, so findet sich die Polarisation des Platins durch Wasserstoffgas. —

Die große Wichtigkeit des Ohm'schen Gesetzes für die Ermittlung der quantitativen Beziehungen des elektrischen Stromes wird man aus den bisherigen Betrachtungen erkannt haben. Eine Ableitung der Ohm'schen Formel aber aus dem elektrostatischen Gesetze für die gegenseitige Abstoßung der Elektricitätstheilchen hat Kirchhoff †) gegeben. Auch hat derselbe Formeln für die Intensitäten galvanischer Ströme in einem beliebigen Systeme linearer Leiter entwickelt ††) und hierauf die Anwendbarkeit dieser Formeln auf Systeme, die zum Theil aus nicht linearen Leitern bestehen, erörtert. Hiernach hat auch Helmholtz †††) einige Gesetze der Vertheilung elektrischer Ströme in körperlichen Leitern zur Darstellung gebracht. Wir heben aus seiner Untersuchung einen Satz heraus, den er mit Bezug auf die Kirchhoff'schen Formeln allgemein bewiesen hat. Dieser Satz lautet: „Wenn in einem beliebigen Systeme von Leitern elektromotorische Kräfte an verschiedenen Stellen vorkommen, so ist die elektrische Spannung in jedem Punkte des durchströmten Systems gleich der algebraischen Summe derjenigen Spannungen, welche jede einzelne der elektromotorischen Kräfte unabhängig von den anderen hervorbringen würde. Und eben so sind die mit drei rechtwinkligen Axen parallelen Coordinaten der Stromintensität gleich der Summe der entsprechenden Componenten, welche den einzelnen Kräften zugehören.“ —

*) Phil. Trans. 1842, p. 137. Pogg. Ann. Bd. LXX. S. 389.

**) Ann. Bd. LXX. S. 178.

***) Trans. Irish Acad. T. XXI. p. 297.

****) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 296. 371.

*****) Vergl. Bech: Ueber die galvanische Polarisation von Platinelektroden durch Sauerstoff und Wasserstoff in Pogg. Ann. Bd. 78. S. 35 und über die Stärke der galvanischen Polarisation ebenda Bd. XC. S. 42.

†) Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 506.

††) Pogg. Ann. Bd. LXIV. S. 513; Bd. LXXII. S. 497; Bd. LXXV. S. 189; vergl. auch Smaasen in Ann. Bd. LXIX. S. 161.

†††) Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 211.

Die Wirkungen des elektrischen Stromes, sowohl des durch Reibung als Contact gelieferten, sind bereits in anderen Artikeln zur Sprache gekommen *). Diese Wirkungen sind Licht- und Wärmeercheinungen, mechanische, magnetische und chemische Effecte.

Während einer Untersuchung über das Verhalten des Quecksilbers bei seiner elektromagnetischen Rotation hat Voggendorff **) bezüglich der Funkenerscheinung des galvanischen Stromes eine Wahrnehmung gemacht, die wir hier hervorheben wollen. Man gieße in ein Uhrglas oder Porzellanschälchen etwa eine Unze Quecksilber, setze dasselbe auf eine Drahtrolle, die einen Eisenkern einschließt, und tauche nun lothrecht in das flüssige Metall zwei Drähte von Eisen oder Platin, den einen nahe am Rande, den anderen in der Mitte der runden Masse, und zwar den letzteren so, daß er nur etwa $\frac{1}{2}$ Linie tief eingesenkt ist. Leitet man nun den Strom einer galvanischen Kette vermittelst der beiden Drähte durch den Draht der Rolle und das Quecksilber, so wird der Eisenkern zu einem Magnet und damit tritt dann sogleich eine lebhasie Rotation des Quecksilbers ein. Vermöge der durch diese Rotation bewirkten Centrifugalkraft senkt sich das Quecksilber in der Mitte, und falls der centrale Draht nicht zu tief eingesenkt ist, kommt bald ein Moment, wo das Quecksilber sich von ihm abtrennt und dadurch eine Unterbrechung des Stromes bewirkt. Das Quecksilber setzt dann seine Rotation nur kraft der erlangten Geschwindigkeit fort, die aber wegen der Reibung an dem Gefäße bald geringer wird, so daß es sich in der Mitte wieder hebt und zuletzt mit dem centralen Drahte wieder in Berührung kommt, wo dann die Rotation mit anfänglicher Geschwindigkeit von Neuem beginnt. Es erscheint nun allemal, wenn das Quecksilber den centralen Draht verläßt, ein Funke, niemals aber, wenn es wieder mit ihm in Berührung tritt, was nach Voggendorff augenscheinlich beweist, daß der so häufig besprochene galvanische Schließungsfunke (s. Art. Galvanismus, Bd. III. S. 319) nicht existirt, weder bei der einfachen Kette, noch bei der Säule, da man beide Apparate ohne Unterschied mit gleichem Erfolg zu dem erwähnten Versuch benutzen kann. Zu diesem Nachweis ist nun, wie Voggendorff bemerkt, das rotirende Quecksilber besonders geeignet, indem es ein sanftes, von allen Erschütterungen freies Schließen der Kette bewerkstelligt, sobald man nur eine standfeste Unterlage zur Verfügung hat.

Zu den mechanischen Wirkungen des elektrischen Stromes läßt sich auch die schon seit langem beobachtete und in neuerer Zeit von Wiedemann ***) genauer untersuchte Bewegung von Flüssigkeiten im Kreise der geschlossenen galvanischen Säule zählen. Die Flüssigkeitstheilschen erfahren nämlich eine Bewegung in der Richtung vom positiven zum negativen Pol. Man kann diese Erscheinung wahrnehmen, wenn man die zwischen den Polen (Elektroden) eingeschaltete Flüssigkeit auf geeignete Weise durch eine poröse Scheidewand in zwei Abtheilungen theilt.

*) S. d. Art. Electricität, Flasche (elektrische), Funke (elektrischer), Galvanismus und Elektromagnetismus. — In Hinsicht auf den Mechanismus der Entladung einer Leidner Flasche sei hier noch verwiesen auf Rieß in Pogg. Ann. Bd. XCVIII. S. 379. Thomson, Philosophical Magaz. 4. Ser. p. 393. Kirchhoff, Pogg. Ann. Bd. C. S. 193 u. Feddersen, Beiträge zur Kenntniß des elektrischen Funken, Kiel 1857.

**) Ann. Bd. LXXVII. S. 1.

***) Pogg. Ann. Bd. LXXXVII. S. 321.

In der mit der negativen Elektrode versehenen Abtheilung steigt dann die Flüssigkeit höher. Wiedemann benutzte hierzu eine zweckmäßige Vorrichtung *). Nach Wiedemann's Untersuchungen ist nun die Menge, welche von einer bestimmten Flüssigkeit durch eine poröse Wand in der Zeiteinheit von einem galvanischen Strom von gegebener Intensität hindurchgeführt wird, der Intensität des Stromes direct proportional, und von der Dicke und dem Querschnitt (oder der Oeffnung der Wand) unabhängig. Und die Kraft, mit welcher ein galvanischer Strom eine in seinen Kreis eingeschaltete Flüssigkeit durch eine Wand mit gegebener Oeffnung von der positiven zur negativen Elektrode hindurchführt, wird durch eine Druckhöhe gemessen, die der Intensität des Stromes, dem specifischen Leitungswiderstande der Flüssigkeit, der Dicke der Wand direct, und der Oeffnung der Wand umgekehrt proportional ist. Sodann ergab sich, daß eine elektrische Spannung, welche an beiden Seiten einer in eine beliebige Flüssigkeit eingesenkten porösen Wand vorhanden ist, die Flüssigkeit von der positiven zur negativen Seite mit einer Kraft fortführt, die einem jener Spannung direct proportionalen hydrostatischen Drucke gleich ist.

Nach den Betrachtungen im Art. Elektromagnetismus ist die magnetische Wirkung des elektrischen Stromes der Stromstärke proportional und in allen Theilen des Schließungsdrahtes von gleicher Größe; sie ist überhaupt proportional dem Product aus der Stromstärke in die Länge des Drahtes. Ist die galvanische Kette oder Batterie, die z. B. zur Erzeugung eines Elektromagneten verwendet werden soll, gegeben, so hängt die Stromstärke von der Länge und Dicke des Drahtes ab, den man (in der Form von Windungen um den Eisenkern) als Schließungsbogen des galvanischen Apparates benutzt. Bei elektromagnetischen Maschinen und dergleichen ist auch der Raum gegeben, welcher mit Draht ausgefüllt werden soll. Diese Ausfüllung kann nun entweder durch einen langen und dünnen oder durch einen kurzen und dicken Draht geschehen. Es ist zu ermitteln, unter welchen Umständen das Maximum der magnetischen Wirkung stattfinden wird **).

Bezeichnet n die Anzahl der Glieder einer galvanischen Säule, r den Widerstand und e die elektromotorische Kraft eines Gliedes, R aber den Widerstand des Schließungsbogens, so hat man bekanntlich für die Stromstärke $s = \frac{ne}{nr + R}$.

Ist nun l die Länge und q der Querschnitt des Schließungsdrahtes vom Widerstande R , v das Volumen, das von ihm ausgefüllt werden soll; so hat man $R = \frac{l}{q}$ und $lq = v$, daher $R = \frac{l^2}{v}$. Führt man diesen Werth von R in

obiger Gleichung für S ein, so ergiebt sich $S = \frac{nve}{nvr + l^2}$.

Der magnetische Effect M ist nun gleich $S \cdot l$, also $M = \frac{nvel}{nvr + l^2}$.

Dieser Ausdruck wird aber ein Maximum, wenn $nvr = l^2$, oder $R = nr$

*) A. a. O. S. 324.

**) Pogg. Ann. Bd. LV. S. 48.

ist, d. h. wenn man den Widerstand des Schließungsdrahtes gleich dem Widerstand der Säule macht.

Daher wird denn auch das Maximum des Magnetismus in einem Eisenstabe erhalten, wenn der gesammte Widerstand des die Spirale bildenden Schließungsdrahtes der Säule gleich ist dem gesammten Widerstand der Säule.

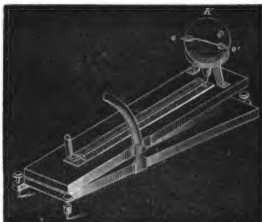
Im Artikel Elektromagnetismus war die Rede von der Anziehung und Tragkraft der Elektromagnete. Wenn man einem Magneten einen zweiten Stab aus weichem Eisen nähert, so wird auch dieser magnetisch und es tritt bei n-fachem Magnetismus eine n-fache Wirkung ein. Diese Wirkung nennt man „Anziehung.“ Doch ist die Anziehung in Berührung und die auf Entfernung von einander zu unterscheiden. Die Anziehung in unmittelbarer Berührung von Magnet und Anker kann man mit Dub durch das Wort „Tragkraft“ bezeichnen und die Anziehung auf Entfernung kurz „Anziehung“ nennen. Dub *) kam nun durch fortgesetzte Versuche über diesen Gegenstand zu folgenden Resultaten: 1) Die Anziehung und Tragkraft sowohl der Stab- als Hufeisenelektromagnete verhält sich wie das Quadrat der Stromstärke multiplicirt mit dem Quadrat der Windungszahl der Spirale; 2) der Magnetismus massiver Eisencylinder von gleicher Länge, die durch galvanische Ströme von gleicher Stärke und durch Spiralen von einer gleichen Anzahl den Kern eng umschließender Windungen magnetisirt sind, ist den Wurzeln der Durchmesser dieser Cylinder genau proportional **); 3) für den Fall, daß die Berührungsfläche nicht die Erscheinung trübt, verhält sich die Anziehung und die Tragkraft, bei gleicher magnetisirender Kraft, wie die Durchmesser der Stab- und Hufeisen-Elektromagnete; 4) die Anziehung der Stab- und Hufeisen-Elektromagnete nimmt, bei gleicher magnetisirender Kraft, zu, je näher sämtliche Spiralwindungen dem Pole sind. Doch ist dabei zu beachten, daß bei Anhäufung der Spirale auf einen kleinen Raum viel eher Sättigung eintritt, als wenn dieselbe über den ganzen Kern verbreitet ist; 5) die Anziehung wie die Tragkraft der Hufeisenelektromagnete bleibt, caeteris paribus, dieselbe bei jeder beliebigen Entfernung der Schenkel; 6) fand sich bestätigt, daß die Länge der Schenkel eines Hufeisens keinen Einfluß auf die Anziehung und Tragkraft desselben hat, wenn die Windungen der Spirale es seiner ganzen Länge nach umgeben.

Die Gesetze der Wärmeerregung, welche durch einen elektrischen Strom in Metalldrähten bewirkt wird, sind zuerst von Rich für den Entladungsstrom einer Leidner Flasche genauer untersucht worden. Der auf seine Wärme zu untersuchende Metalldraht wurde innerhalb einer Glasugel (von mindestens 3 Zoll Durchmesser) ausgespannt, und zwar vermittelt zweier Kegelflemmen, die in zwei diametral einander gegenüber liegenden Löchern (o und o') angebracht waren (s. umstehende Figur). Zwei durchbohrte und äußerlich mit einem Schraubenzug versehene Messinghülsen waren auf diese Löcher gekittet und konnten vermöge einer dazwischen befindlichen Lederscheibe luftdicht verschlossen werden. Mit der Glasugel communicirt eine etwa 200 Linien lange und 0^m,45 weite Glasröhre, welche an ihrem anderen Ende ein 2^{''},5 hohes und 6^{''},3 weites Glasgefäß trägt. Dieses von Harris herrührende Luftthermometer wurde auf einem Brett befestigt, so

*) Pogg. Ann. Bd. XC. S. 248. 436.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXIX. S. 337.

daß die Glasröhre über einer in Linien getheilten Scale hing. Das Brett läßt sich durch einen Metallbogen und eine Klemmschraube gegen eine horizontale Unterlage unter einem bestimmten Winkel feststellen. In der Glasröhre befand sich durch Alkohol stark verdünnte und mit Cochenille gefärbte Schwefelsäure, so daß sie im Glasgefäße 11 und in der Röhre etwa 100 Linien einnahm. Die



oben erwähnten Messinghülsen haben an ihren Enden conische Oeffnungen, welche die Zuleitungsdrähte aufnahmen, von denen der eine zur äußeren Belegung einer Leidner Batterie, der andere zu einer isolirten Kugel führte, welcher eine andere ähnliche Kugel gegenüberstand, die mit der inneren Belegung der Batterie verbunden war. Außerdem befand sich in der Kugel K noch eine dritte Oeffnung, die durch einen eingeschliffenen Stöpsel luftdicht verschlossen werden konnte und dazu diente, vor jedem Versuche die Spannungen der inneren und äußeren Luft ins Gleichgewicht zu setzen. Zwischen jenen Kugeln war eine isolirte und um eine excentrische Axe drehbare Hebelstange so angebracht, daß sie beim Niederfallen beide Kugeln mit einander in Verbindung brachte. Der Entladungsstrom ging dann durch den Draht im Luftthermometer, und der erwärmte Draht konnte seine Wärme der ihn umgebenden Luft mittheilen, welche nun in Folge ihrer vermehrten Spannung die Flüssigkeit des Thermometers zurückdrängte. Man konnte annehmen, daß diese Wirkung auf die Flüssigkeit schon vollständig geschehen war, ehe der geringste Theil der vom Drahte an die Luft abgegebenen Wärme auf die Glashülle übergegangen war. Die Anzahl Linien, um welche die Flüssigkeit zurückgedrängt wurde, ließ sich den entwickelten Wärmemengen proportional annehmen, falls die Versuche bei ruhiger Luft und unverändertem Barometerstande angestellt wurden. Ist der Luftraum des Thermometers sehr groß im Verhältniß zur Masse des eingeschlossenen Drahtes, so läßt sich die entwickelte Wärmemenge dem Product aus der Anzeige des Thermometers und einem constanten Factor gleich setzen, welcher letztere von der Beschaffenheit und Menge der Luft im Thermometer abhängt.

Bei gleichen Elektrizitätsmengen war nun der Wärmeeffect der Dichtigkeit der Anhäufung proportional, so daß eine gegebene Elektrizitätsmenge bei doppelter Dichtigkeit eine doppelte Menge freier Wärme erzeugte, falls die Entladung durch denselben Schließungsbogen geschah. Wurden ungleiche Elektrizitätsmengen bei gleicher Dichtigkeit benutzt, also die doppelte oder dreifache Menge resp. auf der doppelten oder dreifachen Anzahl Flaschen vertheilt, so stieg die Wärmeentwicklung im geraden Verhältniß zur Quantität der Entladung. Aus diesen beiden Sätzen folgt, was sich auch direct nachweisen ließ, daß die Wärmemenge, wenn man die Ladung ohne Vergrößerung der Oberfläche vermehrt, wie das Quadrat der elektrischen Anhäufung wächst. Die Wärmemenge, welche durch die Entladung einer elektrischen Batterie im Schließungsdrahte hervorgebracht wird, steht im zusammengesetzten Verhältniß der Quantität und Dichtigkeit der angehäuften Elektrizität. Auch kann man sagen, daß die Menge der in einem beliebigen, durch seine ganze Länge gleichartigen Theile des Schließungsbogens entwickelten Wärme im geraden Verhältniß der sich entladenden Elektrizitätsmenge und im umgekehrten der Entladungszeit steht. Sodann ist die in einem Drahte erzeugte Wärme seinem Leitungswiderstande proportional.

Ueberhaupt ist die vom elektrischen Strome in einem Drahte entwickelte Wärme proportional seinem Leitungswiderstande und dem Quadrat der Stromstärke. Dieses Gesetz wurde für galvanische Ströme von Joule *), Lenz **) und Becquerel ***) empirisch dargethan. Bei den Versuchen von Lenz war der zu untersuchende Draht in einem Glasgefäß angebracht, das mit Wasser oder Weingeist angefüllt war. Während der elektrische Strom durch diesen Draht ging, erwärmte sich die Flüssigkeit, und die nach einer gewissen Zeit eingetretene Temperatur derselben wurde durch ein Thermometer, welches in die Flüssigkeit tauchte, angezeigt. Eine leichte Rechnung ergab die in der Einheit der Zeit bewirkte Temperaturerhöhung, welche der während dieser Zeit vom Drahte abgegebenen Wärmemenge proportional war. Um den Einfluß der Erkaltung zu beseitigen, wurde die Flüssigkeit, welche einen Theil des Schließungsdrahtes der Kette aufnahm, vorher um einige Grade unter die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet, und dann der Strom so lange unterhalten, bis die Flüssigkeit um eine gleiche Anzahl von Graden über die Luft erwärmt war. Pott **) bestimmte die Wärmemenge durch die Eismenge, welche von dem in das Innere eines Calorimeters gebrachten Theil des Schließungsdrahtes binnen einer gewissen Zeit geschmolzen wurde. Zu demselben Behufe benutzte Voggen-dorff ****) ein sehr zweckmäßiges thermometerartiges Instrument, das er Galvanothermometer nennt. Den Hauptkörper desselben bildet eine kleine Stöpselflasche von 52 Millimeter Höhe, 33 Millim. äußerem Durchmesser und geringer Wanddicke. Durch ein im Boden befindliches, 20 Millim. weites Loch, das durch einen fehlerfreien Kork verschlossen ist, gehen die nöthigen Drähte ins Innere. Sind diese Drähte an ihrem Ort, so wird die Flasche bis in den Hals

*) Phil. Mag. S. 3. Vol. XIX. p. 264 u. S. 4. Vol. III. p. 486.

**) Pogg. Ann. Bd. LXI. S. 44.

***) Annal. de Chim. et de Phys. S. 3. T. IX. p. 21.

****) Archiv. de l'électricité. T. V. p. 383.

*****) Ann. Bd. LXXIII. S. 361.

mit Alkohol gefüllt, und darauf eine etwa anderthalb Fuß lange eingeriebene Glasröhre fest aufgesteckt und eine in Millimeter getheilte Scale daran befestigt. Der innere Durchmesser dieser Röhre richtet sich nach der Empfindlichkeit, die man dem Instrumente geben will; er betrug 40 Millimeter. Zur Befestigung und leichten Auslösung des Drahtes, der durch den Strom erwärmt werden soll, dienen zwei Silberdrähte von etwa zwei Millim. Dicke, welche am inneren Ende mit einem Löthelchen und einem Schraubengewinde versehen sind. In diese Löthelchen werden die Enden des dünnen Drahtes gesteckt und darin durch Schraubennuttern festgehalten. Will man successiv drei Drähte erwärmen, so hat man vier solcher Befestigungspunkte nöthig, einen für die einen Enden der Drähte, und die übrigen drei für die anderen drei Enden. Außerhalb werden die dicken Silberdrähte durch Klammern verknüpft. Anstatt die Flasche unten durch einen Kork zu verschließen, kann man dazu zweckmäßiger eine mattgeschliffene, und zur Durchlassung der Silberdrähte gehörig durchbohrte Glasplatte anwenden. — Läßt man einen Strom von constanter Stärke durch Platindrähte von verschiedener Länge gehen, die vermittelt der obigen Silberdrähte innerhalb der Flasche befestigt sind, so ergibt sich, daß die Erwärmungen der Flüssigkeit, welche aus dem Stand der letzteren in der Thermometerrohre erschlossen werden können, sich verhalten wie die Widerstände der eingeschalteten Drähte. Doch muß natürlich die Flüssigkeit von einem Versuche zum anderen auf die Temperatur der äußeren Luft erkalten. Gehen durch denselben Platindraht nach einander zwei Ströme bei verschiedenen Widerständen, so verhalten sich die Wärmeanzeigen des Instruments wie die Quadrate der betreffenden Stromintensitäten.

Bezeichnet man die während der Zeiteinheit in einem Drahte erzeugte Wärme durch c , die Stromstärken durch s und den Leitungswiderstand durch r , so hat man nach dem Vorhergehenden $c = s^2 r$.

Nach den Untersuchungen von B o g g e n d o r f f *) hat dieses Gesetz nicht bloß für einen Theil der Kette, sondern auch für die ganze Ausdehnung derselben Gültigkeit, so daß die gesammte Wärmemenge, welche eine Volta'sche Kette innerhalb einer zur Einheit angenommenen Zeit entwickelt, gleichfalls durch den obigen Ausdruck vorgestellt werden kann, falls r den gesammten Widerstand der Kette bezeichnet.

Verbindet man den Ausdruck $c = s^2 r$ mit der Ohm'schen Formel: $s r = e$, so erhält man noch die Gleichungen $c = s e$ und $c = \frac{e^2}{r}$. Aus der ersten dieser

beiden Gleichungen folgt, daß bei gleichbleibender elektromotorischer Kraft, also bei Ketten derselben Art, die gesammte Wärmemenge direct proportional ist der Stromstärke s , oder, was dasselbe, direct proportional der Menge des in derselben Zeit elektrolytisch aufgelösten Zinks oder sonstigen positiven Metalls. Setzt man aber die Stromstärke constant und die elektromotorische Kraft veränderlich, so ist die gesammte Wärmemenge, welche die Kette in einer bestimmten Zeit entwickelt, proportional dieser Kraft, und daher kann sie in Ketten verschiedener Art bei einer und derselben Menge von elektrolytisch aufgelöstem Zink sehr ungleich sein. Und die von B o g g e n d o r f f in dieser Beziehung angestellten Messungen bestätigten in

*) Ann. Bd. LXXIII. S. 337.

der That, daß diese Wärmemenge nicht allein von der verbrauchten Menge des positiven Metalls, sondern zugleich von dieser und der elektromotorischen Kraft abhängt *).

Grove **) brachte zwei schraubenförmig gewundene feine Platindrähte von gleicher Länge in den Schließungsbogen einer galvanischen Säule; sowohl der eine als auch der andere befand sich in einem (verkorften) Glasröhrchen; das eine Röhrchen war aber mit Sauerstoff, das andere mit Wasserstoffgas angefüllt. Beide Röhrchen wurden in gleiche Gefäße gelegt, die gleich große Wassermengen enthielten, um die in den Drähten stattfindende Wärmeentwicklung zu messen. Als nun beide Drähte von demselben Strome durchflossen wurden, gerieth der vom Sauerstoff umgebene Draht ins Weißglühen, während der vom Wasserstoff umgebene nicht sichtbar glühte. In dem Wasser, welches die Sauerstoffröhre umgab, stieg die Temperatur von 60° F. bis 81°, in dem die Wasserstoffröhre umgebenden aber nur von 60 bis 70°. Poggendorff ***) leitete diese Erscheinung aus dem bekannten stärkeren Abkühlungsvermögen des Wasserstoffgases ab. Wird also der im Wasserstoff befindliche Draht unter sonst gleichen Umständen stärker abgekühlt als der andere im Sauerstoff befindliche, so wird derselbe einen geringeren Leitungswiderstand darbieten und zufolge dessen muß auch eine geringere Wärmeerregung in ihm stattfinden. Die Nichtbeachtung dieses letzteren Umstandes gab wahrscheinlich Veranlassung, daß die von Poggendorff angedeutete Erklärungsweise bestritten wurde. Dieselbe ist aber in neuerer Zeit von Clausius ****) vollständig begründet worden.

Da intensiv glühender Platindrakt, wie Grove *****) wahrgenommen, Wasser zu zerlegen vermag, so führt dies, wenn ein elektrischer Strom vermittelt Platin-drähte durch manche Flüssigkeiten geleitet wird, unter gewissen Umständen zu einer secundären mit Lichtschein verbundenen Zersetzung, welche Poggendorff †) näher erörtert hat. —

Wir bemerken hier beiläufig, daß Sankel ††) auf die Thatsache, daß gespannte Metalldrähte, falls sie von elektrischen Strömen durchflossen werden, sowohl in Folge der Erwärmung als auch nach Werthheim in Folge einer Verringerung ihrer Elasticität eine Ausdehnung erleiden, ein Instrument zum Behufe der Messung elektrischer Ströme gründete. —

Auf Veranlassung einer Beobachtung von Gauguin †††), welcher einen magnetoelektrischen Inductionstrom (s. Art. Induction, elektrische) durch einen mit verdünnter Luft gefüllten Glasballon zwischen zwei Metallkugeln übergehen ließ, von welchen die eine, bis auf eine sehr kleine Stelle, mit einer isolirenden Substanz bekleidet war, stellte Nieß ††††) eine Reihe von Versuchen

*) Rückfichtlich der bei einem stationären elektrischen Strome in dem Leiter gethanen Arbeit und erzeugten Wärme vergl. Clausius in Pogg. Ann. Bd. LXXXVII. S. 418.

**) Phil. Mag. T. XXVII. p. 448 u. T. XXXV. p. 114. Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 366.

***) Ann. Bd. LXXI. S. 197.

****) Pogg. Ann. Bd. LXXXVII. S. 501.

*****) Phil. Trans. 1847, p. 1. Pogg. Ann. Bd. LXXI. S. 194. 221.

†) Ann. Bd. LXXI. S. 226.

††) Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 206.

†††) Compt. rend. T. XL. p. 640. Pogg. Ann. Bd. XCV. S. 163.

††††) Pogg. Ann. Bd. XCVI. S. 177.

an über den Durchgang elektrischer Ströme durch verdünnte Luft. Gauguin hatte außer jenem Glasballon noch ein Galvanometer in den inducirten Draht eingeschaltet, und beobachtete dann eine starke Ablenkung, wenn die nackte Kugel negativ war, wenn also nach der gewöhnlichen Bezeichnung der positiv elektrische Strom von der bedeckten zur nackten Kugel ging, dagegen zeigte sich keine Ablenkung bei entgegengesetzter Richtung des Stromes. Gauguin äußerte nun die Meinung, daß nur der Öffnungsstrom in der Richtung von der bedeckten zur nackten Kugel durch den Glasballon gehen könne, den er deshalb als ein elektrisches Ventil bezeichnet. Von Riess wurde das Unbegründete dieses Schlusses dargethan. Zunächst stellte er in dieser Beziehung Versuche mit dem einfachsten elektrischen Strome, dem der Leydener Batterie, an. Versuche an einem Inductionsapparate führten zu dem folgenden Resultate. „Wenn man den Gesamtstrom des Magneto-Inductionsapparats durch sehr verdünnte Luft zwischen einer sehr kleinen und einer dagegen großen Fläche übergehen läßt, so geht, falls die kleine Fläche durch den Öffnungsstrom positiv wird, nur der Öffnungsstrom über. Wenn hingegen die kleine Fläche durch den Öffnungsstrom negativ wird, so geht außer diesem Strome auch der Schließungsstrom über.“

Zur Erklärung der Erscheinungen am Inductionsapparate führten die an der Leydener Batterie gewonnenen Erfahrungen. Die in der Batterie angehäuften positiven Elektricität erregte eine geringere Wärme im Schließungsbogen, wenn sie in der dünnen Luft von einer sehr kleinen zu einer großen Fläche ging. Dasselbe findet statt für den Öffnungsstrom des Inductionsapparates. Die Erwärmung ist geringer bei der Richtung des Öffnungsstromes von der kleinen zur großen Fläche, als im entgegengesetzten Falle. An einem zugleich eingeschalteten Galvanometer wurde bestätigt, daß die größte Erwärmung mit der kleineren Ablenkung der Magnetnadel, und die kleinere Erwärmung mit der größeren Ablenkung eintrat. Bei der Leydener Batterie ist es unzweifelhaft, daß die Aenderung der Erwärmung durch Aenderung der Entladungsart, daß die Verstärkung der Erwärmung durch Verwandlung der langsam glimmenden (continuirlichen) Entladung in die viel schneller vollendete discontinuirliche Entladung bewirkt wird. In derselben Weise wird es sich auch beim Inductionsapparate verhalten. Die Verwandlung der glimmenden in die discontinuirliche Entladung bewirkt, daß ein im Schließungsbogen befindliches Galvanometer weniger abgelenkt, von einer darin befindlichen Substanz eine geringere Menge zerseht wird, als früher. Während die glimmende Entladung die Elektroden (Pole) unverletzt läßt, reißt die discontinuirliche Theile der Elektroden fort und wirft sie im glühenden Zustande in den Raum zwischen den Elektroden. Hierdurch wird dieser Raum leitender und kann dem Schließungsstrome gestatten, glimmend überzugehen. Wenn nun der Gesamtstrom des Inductionsapparates in einem stark verdünnten Lustraum zwischen einer sehr kleinen und großen Fläche übergeführt wird, und der Öffnungsstrom die Richtung von der kleinen zur großen Fläche hat, so geht nur dieser Strom und zwar glimmend über. Dann wird im Schließungsbogen nur geringe Wärme erregt, ein Galvanometer stark und stetig nach einer bestimmten Richtung abgelenkt, eine zersehbare Substanz regelrecht zerseht, indem ein bestimmter Bestandtheil derselben an einer bestimmten Stelle hervortritt. Geht dagegen der Öffnungsstrom in der dünnen Luft von der großen zur kleinen Fläche, so geht dieser Strom zum Theil discontinuirlich über, was im Schließungsbogen eine größere Wärmeerre-

gung, eine geringere Ablenkung des Galvanometers und eine Zersetzung in geringerer Menge zur Folge hat. Diese Wirkungen werden dadurch abgeändert, daß durch den leitend gewordenen Luftraum auch der Schließungsstrom und zwar glimmend übergeht, dessen Wirkung auf die Erwärmung gering, auf die magnetische Ablenkung- und die Zersetzung stark, und der Richtung nach, der Wirkung des Öffnungsstromes entgegengesetzt ist. So kann denn auch in diesem Falle, bei dem veränderlichen Nacheinanderwirken von zwei entgegengesetzten Strömen, eine Veränderlichkeit des Erfolgs in Rücksicht der Ablenkung des Galvanometers und des Orts der Ausscheidung eines bestimmten Stoffes u. stattfinden.

Am Schlusse seiner Betrachtungen über diesen Gegenstand erwähnt Rieß noch einer Thatsache, die wir hier noch anführen wollen. Läßt man nämlich den Strom einer mächtigen Volta'schen Säule in freier Luft zwischen zwei Drähten leuchtend übergehen, so wird der Draht, welcher die positive Elektrode bildet, bekanntlich heißer als der andere und glüht und schmilzt zuerst. Wenn dagegen der Strom eines Inductionsapparates in freier Luft zwischen zwei gleichen Drahtspitzen mit Funken übergeht, so kommt nur diejenige Drahtspitze ins Glühen und Schmelzen, welche die negative Elektrode des Öffnungsstromes bildet, und, wie Rieß gezeigt hat, an der Umhüllung mit blauem Glimmlichte zu erkennen ist. Rieß weist nun darauf hin, daß der Öffnungsstrom, der hier sichtlich zum Theil glimmend übergehe, vielleicht nur geringen Antheil an der Erwärmung habe, während er den Luftraum leitend und den Uebergang des Schließungsstromes möglich mache, der dann wesentlich bei dem Erglühen der Drahtspitze wirke. Hiernach würde es die positive Elektrode des Schließungsstromes sein, welche die stärkste Erwärmung zeigte, und zwischen der Wirkung des Volta'schen und Inductionsstromes fände keine Verschiedenheit statt.

Die verschiedenen Anwendungen, welche der elektrische Strom und der durch ihn erzeugte Magnetismus zuläßt, findet man in anderen (besonderen) Artikeln d. W. erörtert. Wir heben hier nur die Anwendung auf die Messung sehr kleiner Zeittheilchen hervor. Wheatstone construirte zuerst ein hierhergehöriges Instrument, ein sogenanntes Chronoskop, das eben zum Messen sehr kleiner Zeittheilchen dienen sollte *). Dasselbe giebt $\frac{1}{100}$ Secunde an, während man auf gewöhnlichen Chronometern höchstens $\frac{1}{4}$ Secunde ablesen kann. Man erkannte darin bald ein Mittel zur directen und genauern Messung der Geschwindigkeit fallender Körper oder auch von Geschossen in ihrer Bahn. Doch lieferten desfallsige Versuche mit diesem Chronoskop keineswegs übereinstimmende Resultate, bis dasselbe durch den Mechaniker Hipp in Reutlingen eine wesentliche Verbesserung erhielt **). Das verbesserte Chronoskop ist ein Uhrwerk mit zwei Zifferblättern und zwei Zeigern, welches durch ein Gewicht bewegt wird. Ein gezahntes Rädchen und eine Feder, welche 1000 Schwingungen in 1 Secunde macht, bilden die Hemmung (Chappement), so daß das Rädchen bei jeder Schwingung um einen Zahn weiter geht. Der eine Zeiger zeigt $\frac{1}{10}$ Secunde, der andere den hundertsten Theil hiervon, mithin $\frac{1}{1000}$ Secunde an. An der Höhe

*) Pogg. Ann. Bd. LXV. S. 433. 434; Bd. LXIX. S. 486. Dingler's polytechn. Journal. Bd. XCVI. S. 196. 201. 489.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 589. Dingler's polytechn. Journ. Bd. CXIV. S. 255.

des Tones, welchen das Schappement von sich giebt, läßt sich erkennen, daß während des Laufes nicht die geringste Abweichung von einer gleichförmigen Bewegung stattfindet. Ein Elektromagnet communicirt nun mit diesem Uhrwerke in der Weise, daß im Falle, wo ein elektrischer Strom durch die Drahtumwicklung des ersteren geht, durch seine Thätigkeit die Zeiger des Uhrwerkes gehemmt sind, also stille stehen, ohne daß hierdurch der gleichförmige Gang der Uhr selbst behindert wird. Unterbricht man aber den Strom auf irgend eine Weise, so gehen sofort die Zeiger mit, so lange bis der Strom um das Eisen wieder hergestellt ist. Die Zeiger geben dann die Zeit an, welche während der Unterbrechung des Stromes verfloßen ist.

Will man nun mittelst dieses Chronoskopes die Fallzeit eines Körpers ermitteln, so bringt man an eine verticale Säule ein horizontales hölzernes Querstück (einen sog. Galgen) an, das sich mittelst einer Schraube höher oder tiefer feststellen läßt. Hier befindet sich eine Messingkugel an einem Faden, der durch eine Feder festgeklemmt ist. Auch ist die Einrichtung so getroffen, daß diese Kugel eine leitende Gemeinschaft zwischen den Drähten herstellt, welche den Strom einer galvanischen Kette durch die Drahtumwicklung des als Elektromagneten dienenden Eisens führen. Drückt man auf jene Feder, so beginnt die Kugel zu fallen; der elektrische Strom ist dann unterbrochen und die Zeiger des Chronoskopes bewegen sich fort. In dem Moment aber, wo die fallende Kugel auf eine auf der Fußplatte des Instruments stehende hölzerne Brücke fällt, werden durch den Stoß zwei an der letzteren befindliche Metallplättchen in eine leitende Berührung mit einander gebracht. Dadurch ist der elektrische Strom wieder hergestellt, der Elektromagnet thätig und die Zeiger stehen wieder stille. Die Zeiger geben dann die Zeit an, während welcher der Strom unterbrochen war, d. h. die Zeit, welche die Kugel brauchte, um den Weg von dem oberen Querstück der Säule bis herab zu der erwähnten hölzernen Brücke zu durchfallen.

Dieses Chronoskop giebt noch Zeitunterschiede von $\frac{1}{500}$ Secunde sicher an. Versuche bezüglich der Fallzeit eines Körpers von verschiedenen Höhen herab gaben sehr befriedigende Resultate *).

In ähnlicher Weise kann man dasselbe Instrument auch benutzen, um die Geschwindigkeit von Geschossen zu messen, z. B. die Zeit, welche eine Pistolenkugel gebraucht, um einen bestimmten Weg zurückzulegen. Zu diesem Behufe befestigt man an der Mündung der Pistole einen hölzernen Ring, über welchen man einen feinen Draht spannt, dessen Enden man auf geeignete Weise mit den Leitungsdrähten einer galvanischen Kette und der Drahtumwicklung des Elektromagneten verbindet. Beim Abfeuern der Pistole zerreißt nun die Kugel den feinen Draht über der Mündung, wodurch der Strom unterbrochen wird. Da aber der Pistole gegenüber in abgemessener Entfernung eine Brücke aufgestellt ist, an welcher, wie im obigen Versuche, eine einfache Vorrichtung zur Herstellung des elektrischen Stromes um das Eisen des Elektromagneten angebracht ist, so wird die Circulation des Stromes in dem Moment wieder beginnen, wo die Kugel gegen die Brücke schlägt. Die zwischen der Unterbrechung und Herstellung des Stromes verfloßene Zeit ergibt sich wieder aus der Stellung der Zeiger, welche letztere bei

*) Vergl. Delschläger in Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 590.

der Wiederherstellung des Stromes sofort zum Stillstand kommen. Diese Zeit hatte aber die Kugel nöthig, um den Weg von der Mündung der Pistole bis zur Brücke zu durchlaufen.

Es ist bekannt, daß man Uhren gewöhnlich durch Gewichte oder Federn in Bewegung erhält; man kann dazu aber den Elektromagnetismus verwenden, wenn man den letzteren durch einen elektrischen Strom von lange anhaltender Constanz erzeugt. Man denke sich am unteren Ende der Pendelstange eine Rolle befestigt, die aus etlichen tausend Windungen eines feinen Kupferdrahtes besteht, und deren an der Pendelstange hinaufgeführte Enden mit einer constanten galvanischen Kette verbunden sind. Neben dem Pendel mögen ferner zwei Stahlmagnete so aufgestellt sein, daß sie abwechselnd in das Innere der mit dem Pendel schwingenden Drahtrolle treten können. Vermittelt eines Commutators läßt sich die Richtung des elektrischen Stromes im Drahte umkehren, und zwar geschieht dies allemal in dem Moment, wo das Pendel durch die verticale Gleichgewichtslage geht. Wenn aber nun die Stahlstäbe an ihren einander gegenüberstehenden Enden gleichen Magnetismus haben, so wird die Drahtrolle stets von dem einen Stabe abgestoßen und von dem anderen angezogen werden. Ist die Rolle über die Gleichgewichtslage hinausgegangen, so erfolgt Abstoßung von Seiten des Stabes, dem sie sich nähert, und Anziehung von Seiten des anderen. — *Bain* benutzte zur Erzeugung eines constanten Stromes eine Zink- und Kupferplatte, die er in die Erde versenkte. *Eisenlohr* *) empfiehlt eine Kette von *Gardel*, die man erhält, wenn man in einen großen Topf einen Sack mit Zink und Alaun oder Weinslein hängt, in den Raum zwischen Sack und Topf einen langen Bleidraht legt, diesen Raum mit kleinen Coakstücken ausfüllt und dann in den noch übrigen Raum Wasser gießt. Durch den Bleidraht wird die Leitung zwischen den Coakstücken vermittelt.

Steinheil lehrte zuerst, wie man eine einzige genau gehende Pendeluhr vermittelt des Elektromagnetismus benutzen könne, um andere weniger genau gehende Uhren nach bestimmten Zeitintervallen in ihrem Gange zu reguliren. Auch kann, wie *Wheatstone* gezeigt hat, eine beliebig große Anzahl von Uhren, die an verschiedenen, weit von einander entfernten Orten befindlich sind, durch eine einzige genau gehende Uhr im gleichförmigen Gange erhalten werden. Diese Uhren sind dann bloße Zeigerwerke, ohne Feder und Pendel. Die letzterwähnte Uhr ist nämlich mit einer galvanischen Batterie verbunden, welche durch jeden Pendelschlag geöffnet und durch den nächstfolgenden wieder geschlossen wird. Von dieser Batterie aus geht nun ein Draht zu den übrigen Uhren, von denen jede mit einem Elektromagneten versehen ist, dessen Anker beim wechselnden Schließen und Öffnen der Batterie einen Secundenzeiger in Bewegung setzt.

Stromgebiet, s. **Ströme**.

Stromquadrant, s. **Ströme**.

Strontium, ein einfacher Körper, der zu den Metallen gehört und zwar zur Gruppe der Metalle der alkalischen Erden. Chemisches Zeichen: Sr. Äquivalent: 548 ($O = 100$) oder 43.84 ($H = 1$).

Im reinen Zustande kommt dieser Körper in der Natur nicht vor, sondern

*) Lehrbuch der Physik. S. 623.

hauptsächlich nur das schwefelsaure und kohlensaure Salz. Bald nach der Entdeckung des natürlichen kohlensauren Baryt fand man auch den kohlensauren Strontian bei Strontian in Schottland und da zuerst Crawford 1790 in letzterem eine eigenthümliche, von der Baryterde verschiedene Erde vermuthete und dies später von Klaproth und Hope bestätigt wurde, so erhielt diese und später auch das darin aufgefunden Mineral den Namen von dem Fundorte. Der in der Natur vorkommende schwefelsaure Strontian führt den Namen Cölestin und der kohlensaure Strontian Strontianit. Außer in Schottland findet sich letzterer noch an verschiedenen Orten in Deutschland und Amerika und namentlich in letzterer Zeit kommt er zu einem sehr billigen Preise in den Handel. Der Cölestin kommt im blättrigen, faserigen, strahligen und dichten Zustande an sehr verschiedenen Orten vor; mitunter enthält er auch beträchtliche Mengen von Kalk oder Baryt. Desgleichen ist in dem meisten Schwerspath und auch im Gyps Cölestin enthalten und eben so findet sich auch im Arragonit, Schaumkalk u. Strontian in geringen Mengen; eben so auch im Klingstein, Syenit oder Basalt, so daß also das Vorkommen des Strontian, wenn auch die Massenablagerungen nicht sehr bedeutend sind, dennoch in der Natur ein weit verbreitetes ist. Deshalb findet sich auch Strontian in sehr vielen Mineralquellen und selbst im Brunnen- und Meerwasser.

Sowohl das Strontium wie auch seine Verbindungen zeigen mit dem Baryum und dessen Verbindungen eine bemerkenswerthe Aehnlichkeit, so daß wir namentlich in Bezug auf die Darstellung des Metalles und der Verbindungen auf den Art. Baryum (Bd. I. S. 744) verweisen und hier nur die abweichenden Eigenschaften hervorheben.

Davy stellte neben dem Baryum auch zuerst das Strontium dar, das sich von ersterem hauptsächlich durch ein geringeres specif. Gewicht unterscheidet. In neuerer Zeit hat sich namentlich Mathiessen *) mit der elektrolytischen Darstellung der Erdmetalle beschäftigt und ihm gelang die Reduction derselben so leicht, daß diese als ein Collegienversuch anzusehen ist.

Eben so wie das Baryum verbindet sich auch das Strontium mit dem Sauerstoff in zwei Verhältnissen: zum Strontiumoxyd oder Strontianerde (Sr O) und Strontiumsuperoxyd (Sr O^2). Im wasserfreien Zustande bildet die Strontianerde ein weißliches krystallinisches Pulver, das sich in Wasser ziemlich leicht, doch schwieriger als Baryt löst, weshalb auch die Auflösung des Strontianerdehydrats weniger ägend schmeckt als die des Baryterdehydrats. Von ersterem löst 1 Th. Wasser von $20^\circ \frac{1}{130}$, von letzterem $\frac{1}{29}$. Bei der Aufnahme des Wassers entwickelt sich eine beträchtliche Wärme. Da das Hydrat in heißem Wasser löslicher ist als in kaltem, so krystallisirt ein großer Theil beim Erkalten heraus als $\text{Sr O, HO} + 9 \text{ HO}$ oder wie Noad, Souhay und Lenssen **) angeben, als $\text{Sr O, HO} + 7 \text{ HO}$, welche Formel auch von Mohr für die Barytverbindung gefunden worden ist. — Das Strontiansuperoxyd erhält man in kleinen krystallinischen Glittern, wenn man Wasserstoffsuperoxyd mit Strontianwasser mischt.

Obgleich die Strontiansalze den Barytsalzen in vielen Beziehungen so ähnlich sind, üben sie jedoch nicht wie diese eine so heftige Wirkung auf den thieri-

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIII. S. 277.

**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIX. S. 45.

schen Körper aus. — Der schwefelsaure Strontian (SrO, SO_3) ist nicht so unlöslich wie der schwefelsaure Baryt. Digerirt man ersteren mit Wasser, so wird das Filtrat merklich trübe, sobald man die Lösung eines Barytsalzes hinzusetzt. — Der kohlensaure Strontian (SrO, CO_2) schmilzt nicht, wie der kohlensaure Baryt, vor Abgabe der Kohlensäure. — Der salpetersaure Strontian (SrO, NO_5) krystallisirt bei gewöhnlicher Temperatur wasserfrei in großen regelmäßigen Octaedern; bei niedriger Temperatur aber nehmen die Krystalle eine andere Form an und enthalten dann nach Souday und Lenzon 4 At. Wasser. Da die großen wasserhellen Krystalle leicht Mutterlauge einschließen, so rühren daher wohl die früheren Angaben, daß diese Krystalle 5 At. Wasser enthalten. Das Salz verwittert an der Luft sehr rasch und verliert bei 100° das Krystallwasser gänzlich. Besonders schön erhält man blättrige, in einander verwachsene Krystalle dieses Salzes, wenn eine nicht sehr concentrirte Lösung desselben in Wasser mit Alkohol versetzt wird, so daß erst nach einigen Tagen die Krystallisation beginnt. — Chlorstrontium (SrCl) krystallisirt in langen prismatischen Nadeln mit 6 At. Wasser verbunden, die leicht Feuchtigkeit aus der Luft anziehen und zerfließen. Concentrirter Alkohol löst davon beträchtliche Mengen auf, während Chlorbaryum darin unlöslich ist, so daß man also mittelst Alkohol beide Chlorverbindungen, wenn sie zusammen vorkommen, leicht von einander trennen kann. Der Alkohol brennt mit purpurrother Flamme, wenn darin Chlorstrontium gelöst ist.

Auf dieser Färbung der Flamme beruht überhaupt die Verwendung der Strontianverbindungen bei Feuerwerken. Solche Mischungen sind: 1) 40 Th. salpetersaurer Strontian, 13 Th. Schwefelblumen, 10 Th. chloresaures Kali und 4 Th. Schwefelantimon; 2) 45 Th. salpetersaurer Strontian, 29,7 Th. chloresaures Kali, 17,2 Th. Schwefelblumen und 1,7 Th. Kohle; 3) 23 Th. kohlensaurer Strontian, 61 Th. chloresaures Kali und 16 Th. Schwefel; 4) 56 Th. salpetersaurer Strontian, 24 Th. Schwefel und 20 Th. chloresaures Kali.

Die Strontiansalze haben mit den Barytsalzen ein gemeinschaftliches Reagens: die Schwefelsäure. Man wendet hier eine Lösung von Gyps (schwefelsaurem Kalk) an, um gleichzeitig die Strontiansalze von den Baryt- und Kalksalzen zu unterscheiden; die letzteren werden dadurch nicht gefällt, die Barytsalze sogleich und die Strontiansalze, selbst in concentrirten Lösungen, erst nach einiger Zeit. Dieses Erkennungsmittel ist aber unsicher, sobald Baryt- und Strontiansalze zusammen vorkommen. Dann muß man beide trennen: entweder verwandelt man beide in Chlorverbindungen und zieht das Chlorstrontium durch Alkohol aus oder man fällt den Baryt durch Kieselfluorwasserstoffsäure.

Die Strontiansalze unterscheiden sich indessen sehr leicht von den Barytsalzen dadurch, daß erstere nicht durch chromsaures Kali gefällt werden, welches mit den Barytsalzen einen gelben Niederschlag giebt. Gleichfalls charakteristisch ist das Verhalten beider Salze gegen Kieselfluorwasserstoffsäure; die Barytsalze werden dadurch gefällt, die Strontiansalze nicht. Ein drittes Unterscheidungszeichen ist die rothe Flamme, mit der Alkohol brennt, wenn Strontiansalze damit übergossen werden. Die Barytsalze ertheilen der Alkoholf Flamme durchaus keine rothe Färbung. Diese Färbung der Flamme tritt besonders dann sehr deutlich hervor, wenn man den Spiritus umrührt, namentlich dann, wenn der Alkohol beinahe abgebrannt ist. Kalk- und Lithiumsalze zeigen ähnliche Erscheinungen; im ersteren Falle ist die Färbung weniger schön, im letzteren aber noch intensiver; indessen

sind die Kalk- und Lithiumsalze sehr leicht von den Strontiansalzen zu unterscheiden. Sind letztere mit Barytsalzen gemischt, so wird dadurch die Färbung der Alkoholflamme modificirt und ähnelt nun der der Kalksalze; auch durch Natronsalze wird die Färbung beeinträchtigt oder ganz zerstört. W. B.

Stürme, s. Wind.

Sublimation nennt man eine chemische Operation, deren sich schon der arabische Chemiker Geber zur Darstellung und Reinigung von Präparaten bediente. Der Zweck dieser Operation ist sehr verschieden. Theils werden flüchtige Verbindungen von feuerbeständigen oder weniger flüchtigen getrennt oder auch eine Vereinigung mehrerer flüchtiger Stoffe mit Hülfe der Wärme. Oft aber sind auch beide Zwecke mit einander vereint. Diese Operation hat große Aehnlichkeit mit der Destillation, nur unterscheidet sie sich dadurch von dieser, daß man es hier nicht mit flüssigen, sondern mit festen Substanzen zu thun hat. Eben so ist das Product oder Educt, das man bei der Sublimation erhält, stets eine feste Substanz. Bildet dieses eine feste, zusammenhängende Masse, so heißt es Sublimat; bildet es lockere zarte Anflüge, so führt es den Namen Plumen (Flores).

Je nach den Substanzen, mit denen man zu thun hat, sind auch die Gerätschaften, deren man sich bedient, verschieden. Sollen sehr flüchtige Substanzen sublimirt werden oder entwickeln sich hierbei zugleich flüssige Producte, so bedient man sich, wie bei der Destillation, der Retorten und Vorlagen. Weniger flüchtige Substanzen sublimirt man in Kolben oder gewöhnlichen Medicingläsern, nur muß man hier darauf achten, daß die Oeffnungen nicht durch das Anlegen des Sublimates verstopft werden. Entwickelt sich hierbei Feuchtigkeit, die nicht besonders gesammelt wird, so müssen die Kolben kurzhalbig sein, weil sich sonst die Flüssigkeit hier gleichfalls verdichten und in den Kolben zurückfließen würde, wobei dieser sehr leicht zerreißen kann. Legt sich das Sublimat in festen, zusammenhängenden Massen an, so kann man dasselbe nur durch die Zerstörung des Kolbens gewinnen. Am besten ist es dann, nach dem Ende der Operation gleich den heißen Kolben mit einem nassen Lappen zu umgeben. Das Glas zersplittert dadurch und läßt sich dann leicht entfernen. In der Regel wird diese Operation im Sandbade vorgenommen. Die Regulirung des Feuers fordert große Aufmerksamkeit. Für den fabrikmäßigen Betrieb wendet man irdene oder metallene Gerätschaften an. Oft leitet man die flüchtigen Dämpfe auch, wie z. B. beim Schwefel, Arsenik u. in große gemauerte Räume oder lange Kanäle.

Für gewisse Substanzen sind wieder besondere Vorrichtungen in Gebrauch; so z. B. bei der Darstellung der Benzoesäure aus dem Harz. Für diese hat Mohr einen sehr zweckmäßigen Apparat gegeben *). Auf einen flachen gußeisernen Grapen von 8 Zoll Durchmesser und zwei Zoll hohen senkrechten Wänden wird ein flacher Trichter aus Weißblech aufgesetzt und die Fugen mit Leinsamentitt gedichtet. Von diesem Trichter führt oben ein 3 Zoll weiter Cylinder in einen Holzkasten, der dicht an den Cylinder anschließt und innen mit Papier ausgeklebt ist. Ueber die Oeffnung des Cylinders im Kasten wird ein Stück Tüll gespannt. Wird der Grapen erhitzt, so gehen die Dämpfe der Benzoesäure in den Kasten und verdichten sich hier, da der Kasten sich nicht erwärmt. Ist dieser mit einem Schieberdeckel versehen, so kann man die Benzoesäure leicht daraus entfernen. Dieser

*) Lehrbuch der pharmaceutischen Technik. 2. Aufl. S. 234.

Apparat kann auch bei der Sublimation anderer Substanzen benutzt werden, doch hat er sich nach den Angaben von Otto *) bei der Darstellung von reinem, farblosen Naphthalin aus dem rohen, braunen, von Del durchdrungenen Naphthalin nicht bewährt; eben so wenig die Sublimation in Glasgefäßen. Dagegen läßt folgende Methode, die der bei der Sublimation des Jod befolgten gleicht, nichts zu wünschen übrig. Man giebt ein halbes Pfund des rohen Naphthalin in eine große Porzellanschale, klebt oder dreht einen Bogen Fliesspapier darüber und stellt sie auf das Sandbad. Nach einigen Stunden findet man die Schale mit blendend weißen Blättern von Naphthalin erfüllt. Hat man diese nach dem Erkalten der Schale herausgenommen, so kann die Sublimation von Neuem beginnen; doch ist es zweckmäßig, dann den am Boden der Schale befindlichen Kuchen von Naphthalin mit einigen Scheiben Fliesspapier zu bedecken, damit diese das Del einsaugen.

Nicht selten kommt die Sublimation bei organischen Verbindungen in Anwendung, um diese rein darzustellen; bei der Sublimation sind weniger Verluste zu befürchten als bei einer wiederholten Umkrystallisation oder bei anderen Operationen, die man, wie z. B. das Entfärben mit Kohle, anwenden könnte. Leider aber wurden durch die bis jetzt bei der Sublimation gebräuchlichen Apparate wiederum viele andere Uebelstände herbeigeführt, die Goup Besancon durch die Angabe eines neuen Apparates **) vollständig beseitigt hat. Der wesentlichste Theil desselben stimmt mit der von Kolbe angegebenen Vorrichtung ***) zum Austrocknen von Filtern, hygroskopischen Substanzen etc. vollständig überein. Man wählt zwei gleich große, etwa 12 bis 15 Centimeter im Durchmesser haltende Uhrgläser oder dünnwandige Glasschalen aus, von denen die eine flach, die andere aber mehr bauchig ist, und läßt die Ränder matt schleifen, so daß beide genau auf einander passen. Durch eine Messingklammer, aus zwei Messingstreifen bestehend, die an ihren beiden Enden zusammengelöthet und dann durch Biegen in der Mitte so weit geworden sind, daß die Klammer sehr leicht aufgesetzt und entfernt werden kann, werden die beiden auf einander gelegten Uhrgläser zusammengehalten, da die Klammer leicht federt. Das flache Uhrglas dient zur Aufnahme der Substanz und wird von dem anderen durch eine Scheibe Fliesspapier getrennt. Die Sublimation wird in einem Luftbade, in dem eine runde Oeffnung zur Aufnahme des Uhrglases angebracht worden ist, vorgenommen; so daß man also die Temperatur genau reguliren kann. Um das Heißwerden des oberen Uhrglases zu verhindern, bedeckt man dasselbe mit einem gestrickten Kühlenze und läßt auf dasselbe aus einer passenden Vorrichtung tropfenweise Aether fallen.

Dieser kleine Apparat eignet sich besonders für nicht sehr flüchtige Substanzen, deren Sublimationspunkt aber auch nicht zu hoch, nicht weit über 200° C., liegt. Ein großer Vortheil ist, daß man den Verlauf der Sublimation genau beobachten kann. Selbstverständlich kann man diesem Apparate auch größere Dimensionen geben und eignet er sich vortreflich zu Collegienversuchen behufs Erläuterung der Sublimation.

W. B.

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIII. S. 383.

**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIII. S. 263.

***) Supplemente zum Handwörterbuch der reinen und angewandten Chemie. Braunschweig 1851. Bd. I. S. 423.

Südlicht, f. Nordlicht.

Südpunkt, f. Abendpunkt.

Sümpfe, **Moore**, **Moräste**, **Brüche**, nennt man Gegenden, wo sich Wasseransammlungen im lockeren Erdreich so gebildet haben, daß in dem trüben mehr oder weniger tiefer stehenden Wasser eine lockere, leichte, von vielen Pflanzenwurzeln und Fasern durchwachsene und zusammengehaltene Erdschicht ruht. Zuweilen ist dieselbe mit niedrigem Gebüsch bewachsen. Einige Moore (die festeren, bewachsenen) werden zu Viehweiden, andere zu Torfgewinnung benutzt. Die Ausdünstungen der in dem Wasser verfaulenden Pflanzentheile, welche namentlich bei Temperaturerhöhung eintreten, sind zum Theil sehr unangenehm und der Gesundheit nachtheilig.

Die Sümpfe entstehen in einem erdreichen Boden da, wo Quellen und Flüsse wegen eines sich nach keiner Richtung hin abflachenden Terrains nicht ungehindert abfließen können. Im nördlichen Europa und Amerika kommen die bedeutendsten Sumpfgegenden vor. Das große Torfmoor zwischen Cuxen und Nalmedy liegt 2800 Fuß über dem Niveau des Meeres. Die Entfernung dieser Orte beträgt 6 Meilen, auf denen nur ein einziges Haus steht. Aus den hier liegenden vielen Sümpfen gehen Bäche nach allen vier Weltgegenden aus. In Holland, wo an einigen Stellen das Land tiefer als die Meeresoberfläche liegt, giebt es viele Sümpfe. Bedeutende Sümpfe sind in Deutschland das Teufelsmoor bei Bremen, das Burtanger an der Grenze des Oldenburgischen und die Sümpfe im Lüneburgischen, im Holsteinischen und in Pommern. Auch in Norwegen kommen ansehnliche Sümpfe vor, die zum Theil an Bergen liegen. Bei Lessoe ist fast eine Meile weit ein hölzerner Damm geführt, Menschen oder Thiere, die straucheln, versinken fast augenblicklich. Die Decke des Morastes Sövenhäg bei Raab wird mehrere Quadratmeilen weit von einer schwankenden mit gutem Grase bewachsenen Erdrinde bedeckt. Berühmt sind aus dem Alterthume die Pontinischen Sümpfe in der Gegend von Rom, an der neapolitanischen Grenze in südwestlicher Richtung von Rom. Ihre Länge von Cisterna bis Terracina beträgt 42000 Meter, ihre Breite ist aber viel geringer. Im NW. werden sie von Kalkbergen (Mont Lepine), im SW. vom Meere durch angeschwemmte Gebirge und eine Reihe Dünen begrenzt. Jenseits dieser Dünen haben sich neue Sümpfe und eine zweite Reihe Dünen durch das Meer gebildet. Der Berg Circeo, 525 Meter hoch, ist der Hauptpunkt am Ufer, als Widerstand gegen die Wellen. Die ganze Fläche derselben hält 130261,07 Hectaren.

Die Austrocknung dieser Sümpfe ist zu verschiedenen Zeiten wiederholt versucht worden. Die Ungesundheit der Sümpfe wird zum Theil bedingt durch die zahlreichen Insekten, welche dort entstehen und vermodern, nebst der Menge von Wasserthieren. Die Ausdünstungen (*aria cattiva*) der Pontinischen Sümpfe gehen des großen zwischenliegenden Waldes von Simonetta ungeachtet auf 40 Meilen bis Rom. Die Flüsse Amosenus und Ufens erzeugen durch ihre Ueberschwemmungen diese Sümpfe, welche der Sitz weniger armer und bleicher Fischer sind, umgeben von zahllosen Heerden Insekten und Fröschen.

Zuweilen werden große Strecken der auf dem Wasser schwimmenden Erdschicht in der Nähe eines Sees losgerissen, und treiben dann schwimmend auf dem Wasser, sogenannte schwimmende Inseln bildend. Sie sinken auch zuweilen

nieder und heben sich später wieder empor. Schon Herodot erzählt von einer schwimmenden Insel Chemnis auf einem breiten und tiefen See bei Butus in Unterägypten. Sie mußte festes Erdreich enthalten, denn sie war mit vielen Bäumen bepflanzt und auf ihr standen ein Tempel des Apollon und drei Altäre. Sie soll wie eine andere in Lydien, von der Seneca erzählt, aus Bimstein (der bekanntlich auf dem Wasser schwimmt) bestanden haben. Die Möglichkeit und Wirklichkeit solcher Inseln ist erwiesen. Ein Theil einer morastigen Gegend, Holway-Neß in England, wurde einst mit Häusern und Bäumen u. s. w. nach einem starken Regen plötzlich aufgehoben und fortgerückt. Eben so wurde in Irland in der Grafschaft Galway 1745 nach einem heftigen Sturme mit starkem Regen eine Strecke des Torfmoores aufgehoben, und über einen 300 Morgen ausgedehnten Wiesengrund getrieben. Aber auch auf dem Wasser bewegen sich solche Inseln, wie namentlich eine im Gerdauer-See in Ostpreußen aus Binjen, Reiskg und Wurzelsfasern bestehend und mit Erde bedeckt, übrigens von solcher Masse und Ausdehnung, daß gegen 100 Stück Vieh darauf weideten. Im Jahre 1510 wird ihrer zuerst gedacht, 1707 war sie in 3 Stücke getheilt, auf deren größtem noch etwa 30 Stück Vieh weiden konnten. Wo sie antrieb, wurde sie von den Anwohnern festgebunden, und dadurch allmählig zerstückelt. Im See Iker in Ostnabrück soll es eine schwimmende Insel mit Erlen von 15 Fuß Höhe gegeben haben; bei Rovigo aber, zwischen Etich und Po sollen sich deren mehrere vom Winde umhergetrieben befinden, wovon die Größe der einen auf 100 Morgen geschätzt wird. — In Schweden im See Malängen ist eine unter Wasser befindliche schwimmende Insel, 280 Fuß lang, 220 Fuß breit, meistens 8 bis 10 Fuß unter Wasser. Oft ist sie emporgekommen, und einige Zeit schwimmend geblieben, z. B. 1696 Anfang October 14 Tage, 1712 im August 6 Wochen, 1726 vom 7. bis 29. September, 1743 vom 5. September bis 9. October, 1746 vom Ende August an 6 Wochen. Man fand viele Baumstämme auf ihr, die Erdrinde wurde so hart, daß man darauf gehen konnte. — Im See Nimmern in Ostgothland war eine Insel 150 Fuß lang, 50 Fuß breit, welche 1749 herauf kam, und 12 Wochen umherschwamm. Sie hatte gleichfalls viele Baumstämme und trug einige sehr schwere Steine. — Eine schwimmende Insel, Redwid im See Derwent in England, hält ohngefähr 6 Fuß in der Dicke, befindet sich 150 Yards vom Ufer, ist oft einen ganzen Morgen ausgedehnt, zuweilen nur wenige Ellen, erhebt sich zu Zeiten mehrmals in einem Sommer, vorzüglich bei warmer und trockner Witterung, zuweilen kommt sie in 6 bis 7 Jahren gar nicht empor, bleibt beim Emporkommen unter der Oberfläche des Wassers, oder steigt bis an 2 Fuß darüber. Die Ursache ist kohlenstoffhaltiges Wasserstoffgas, welches sich aus den ineinander gewachsenen und durch verschiedene Erden verbundenen Pflanzentheilen entwickelt, und die gesammte Masse specifisch leichter macht als Wasser *).

Die Torfmoore findet man in mulden- und kesselförmigen Niederungen, in Flachländern und Niederungen, an den Ufern von Seen und Meeren, überhaupt in Gegenden, die längere Zeit unter stagnirendem Wasser stehen. Auch hochliegende Plateaus, deren Unterlage für Wasser undurchdringlich ist, sollen für die Bildung des Torfes sehr geeignet sein. Das Material, aus welchem sich der Torf bildet, wird vorzugsweise von Pflanzen mit zarten Stämmen und Ästen, mit

*) Otto, Hydrographie S. 281. Manchester Memoirs 1819. T. III. Nem. V.

kleinen Blättern und feinen Wurzeln geliefert. Namentlich gehört hierher das sogenannte Torfmoos (*sphagnum*). Indem die unteren Theile dieser Gewächse absterben und verwesen, entstehen die einzelnen Torfschichten, auf welchen sich eine neue Moosdecke erhebt, die dann durch allmälige Verwesung wieder in Torf verwandelt wird u. Die unteren Schichten verlieren in Folge einer fortschreitenden Verwesung bei niedriger Temperatur immer mehr Sauerstoff und Wasserstoff aus ihrer Substanz, deren wesentliche Bestandtheile Sauer-, Wasser- und Kohlenstoff sind. Diese Schichten werden dadurch immer kohlenreicher und vermöge des wachsenden Druckes der oberen Schichten auch immer dichter. Indessen hängt die Zeit, welche zur Erzeugung einer Torflage von bestimmter Dicke nöthig ist, sowohl von klimatischen, als auch von Boden-Verhältnissen ab.

Die Austrocknung von Sümpfen läßt sich bewerkstelligen, wenn es gelingt, dem Wasser einen Abzug zu verschaffen. Das Moorland wird dann zu brauchbarem Ackerlande. Ein Beispiel davon ist der zwischen Ingolstadt und Neuburg in Baiern gelegene, über vier Flächenmeilen große Landstrich, welcher unter dem Namen des Donau-Moores bekannt ist.

Sympiezometer (v. d. griech. συμπίεζω, zusammendrücken) wird ein von Aldie hergestelltes Instrument genannt, welches den Barometer ersetzen sollte. Dasselbe verrieth jedoch im Vergleich mit einem sonst gut construirten Barometer viele Nachtheile und empfahl sich nur zum Gebrauch als Meerbarometer. Dasselbe beruht auf dem Princip der Manometer (s. d. Art.), daß nämlich bei gleichbleibender Temperatur die Gase ihr Volumen im Verhältnisse des zunehmend auf sie wirkenden Druckes vermindern. Uebt gegen eine Gasart die Atmosphäre ihren Druck aus, so ändert sich das Volumen derselben, wie der Druck ein anderer wird. Man sperrt daher in einer Röhre ein Gas durch eine tropfbare Flüssigkeit ab, welche unmittelbar (in einem offenen Gefäße) unter dem Drucke der Atmosphäre steht, und die Wirkung dieses Druckes auf das Gas fortpflanzt. Aus der Volumsänderung des abgesperrten Gases läßt sich dann auf die Druckveränderungen der atmosphärischen Luft schließen. Da aber auch die Wärme das Volumen der Gase ändert, so muß bei den Beobachtungen des Sympiezometers auch das Thermometer genau beobachtet werden. Aldie *) wählte bei seinem Instrumente Wasserstoffgas, welches er mit Mandelöl sperrte; letzteres war mit Ohsenzungenwurzel gefärbt. Von Wichtigkeit ist bei diesem Instrumente die empirische Bestimmung der Scale, was so geschieht, daß man den Apparat (die gefüllte Röhre des Sympiezometers) zugleich mit einem Thermometer und Barometer in ein luftdichtes Gefäß bringt, welches mit einer zum Verdünnen und Verdichten der Luft dienenden Pumpe versehen ist, die Theile, welche den Zollen des Barometers entsprechen, markirt und die Zwischenräume zwischen diesen in hundert Theile theilt, so daß man also ein Hundertstel eines Zolles messen kann. Um den Einfluß der Temperatur zu corrigiren, ist die Hauptscale oder barometrische Scale des Instruments auf einer zweiten verschiebbar, welche letztere mit der Scale des gleichfalls zum Apparate gehörigen Thermometers correspondirt. Vortheilhaft, um stets eine gleichmäßige Temperatur der Sympiezometer-Röhre mit der Thermometer-Röhre zu erhalten, ist die von Forbes angegebene Einrichtung, wo

*) Edinb. Phil. Journ. No. I. p. 54.

die Meßröhre und das Thermometer in eine Glasröhre eingeschlossen sind, deren beide Enden durch messingene Kapseln verschlossen sind, und wobei die äußere atmosphärische Luft keinen anderen Zugang hat, als neben der zum Ablesen der Höhe des Delfadens dienenden Scale, die der veränderlichen Temperatur wegen von außen verschoben werden muß.

Das *Die'sche* Sympiezometer ist von *Forbes* *) einer genauen Prüfung unterworfen worden. Seine Vorzüge sind Leichtigkeit, Bequemlichkeit, der kleine Raum, den es einnimmt, seine geringere Zerbrechlichkeit im Vergleich mit dem Barometer und der Umstand, daß es auf dem Meere von den Schwankungen des Schiffes nicht afficirt wird. Mängel dagegen sind, daß es erst nach einem Barometer graduirt wird, daß die Temperatur einen sehr großen Einfluß auf dasselbe ausübt, und doch die Temperatur nicht im Gase selbst, sondern nur durch ein neben der Gasröhre hängendes Thermometer gemessen wird, daß das Mandelöl an den Wandungen der Röhre adhärirt, daß sich aus demselben Dämpfe entwickeln, welche sich mit dem Gase mischen, und dadurch eine große Unzuverlässigkeit des Instruments hervorrufen, daß sich der Delfaden leicht trennt und endlich, daß das Sympiezometer noch höher im Preise steht als verhältnißmäßig ein Barometer. Die Anzeigen des Barometers erfolgen überdies weit schneller als die des Sympiezometers, welches zur Herstellung seines Gleichgewichts wenigstens fünf Minuten braucht, wo das Barometer nur eine Minute nöthig hat.

Schließlich noch die Bemerkung, daß man Sympiezometer wohl auch eine Vorrichtung nennt, die zur Ermittlung der Zusammendrückbarkeit tropfbar flüssiger Körper dient. Vergl. d. Art. *Zusammendrückbarkeit*.

Syzygien (v. *συνζυγία*, Verbindung) nennt man diejenigen Stellungen der Planeten, insbesondere aber des Mondes, in welchen dieselben mit der Erde fast in einer geraden Linie stehen. Der Mond ist in den Syzygien zur Zeit des Neu- und Vollmondes, so daß sie in der Mitte zwischen den beiden Quadraturen liegen. S. d. Art. *Mond*.

Tachometer, s. Art. *Ströme* S. 157 dieses Bandes.

Tachoprion, s. *Feuerzeug*, Bd. III. S. 183.

Tafel, elektrische, (*Franklin'sche* Tafel) nennt man jede Tafel oder Platte aus einer isolirenden Substanz (Glas, Siegellack, Harz etc.), welche auf beiden Seitenflächen mit einer leitenden Substanz (Zinnfolie) so belegt ist, daß ringsum ein isolirender Rahmen übrig bleibt. Gewöhnlich belegt man, um solche Tafeln herzustellen, Glasplatten mit Zinnfolie oder Goldblatt, so daß die Belegung auf beiden Seiten etwa 2 Zoll vom Rande absteht, damit keine Selbstentladung über diesen Rand hinweg stattfinden. Der besseren Isolirung wegen überzieht man den unbelegten Randtheil noch mit einer Harzschicht; die Tafel selbst befestigt man auf einem isolirenden Fuße. Eine derartige Tafel bietet nun im

*) *Edinb. Journ. of Science*. No. XX. p. 334; *New Ser.* No. VII. p. 91. No. VIII. p. 329.

Wesentlichen dieselben elektrischen Erscheinungen dar wie die Leidener Flasche (s. d. Art.); sie ist eine Leidener Flasche in ebener Form. Will man die Tafel laden, so braucht man nur die eine Belegung derselben mit der Erde (z. B. dadurch, daß man sie mit einem Finger berührt), die andere mit dem Conductor einer thätigen Elektrisirmaschine leitend zu verbinden. Beide Belege werden dann entgegengesetzt elektrisch. Die Entladung geschieht, wenn man zwischen beiden Belegen eine leitende Verbindung herzustellen sucht. Berührt man den einen Beleg mit dem Finger einer Hand, während man einen Finger der anderen Hand dem zweiten Beleg nähert, so erhält man bei einem gewissen Abstand dieses Fingers von der Belegung den bekannten elektrischen Erschütterungsschlag. Man bedient sich aber zur Entladung gewöhnlich eines Ausladers (s. d. Art.).

Die Ladungserscheinungen der Franklin'schen Tafel sowohl als auch der Leidener Flasche beruhen wesentlich auf dem Princip des Condensators (s. d. Art.). Bringt man eine isolirte Metallscheibe irgendwie mit einer fortdauernden Elektrizitätsquelle, z. B. mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine durch einen Draht in Verbindung, so wird diese Scheibe eine gewisse Menge von Elektrizität aufnehmen, und sich hinsichtlich der Anordnung der Elektrizität auf dem ganzen leitenden System, d. h. auf dem Conductor, dem Zuleitungsdraht und der Scheibe ein gewisses Gleichgewichtsverhältniß herstellen. Bringt man aber dieser Scheibe eine zweite zur Erde abgeleitete Metallscheibe in einem gewissen Abstand gegenüber, so daß beide Scheiben durch eine dünne isolirende Luftschicht von einander getrennt sind, so findet vermöge der zweiten Scheibe eine andere Anordnung der Elektrizität in jenem Systeme statt, die Dichtigkeit der Elektrizität am Zuleitungsdrahte wird vermindert und die erste Scheibe kann wieder Elektrizität von Seiten des Conductors aufnehmen. Die zweite Scheibe dient als Condensatorplatte, jene mit der Elektrizitätsquelle verbundene Scheibe ist dann die sogenannte Collectorplatte.

Der gewöhnliche Condensator dient zur Ansammlung von Elektrizität bei Elektrizitätsquellen von constanter Dichtigkeit. Die Franklin'sche Tafel und die Leidener Flasche sind auch Condensatoren, nur hat man es bei ihnen mit einer Elektrizitätsquelle von beliebig zu steigender Dichtigkeit zu thun. In beiden Fällen beruht, wie Rieß *) gezeigt hat, die Wirksamkeit der Condensatorplatte auf einer veränderten Anordnung der Elektrizität auf der isolirten Platte des Apparates, nach welcher bestimmte Stellen derselben durch Einwirkung der abgeleiteten Condensatorplatte eine geringere Dichtigkeit zeigen als früher, während die Dichtigkeit anderer Stellen nothwendig vergrößert wird. Bei dem eigentlichen Condensator ist aber das Verhältniß der Verringerung der Dichtigkeit an der Stelle, wo die Elektrizitätsquelle von constanter Dichtigkeit angelegt ist, zu der Vergrößerung der aufgenommenen Elektrizitätsmenge veränderlich mit Form, Größe und relativer Lage der Elektrizitätsquelle und der Collectorplatte und kann selbst in den einfachsten Fällen theoretisch nicht angegeben werden. Nach Rieß erscheint es nöthig, die von Viot aufgestellte Formel **) $\frac{1}{1 - m^2}$ für die Verstärkungszahl des Condensators gänzlich zu verwerfen und die Wirkungsweise des

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 367.

**) Bergl. Art. Condensator. Bd. I. S. 1002 ff.

Apparates, ohne Rücksicht auf die Menge erregter Influenz- (Vertheilungs-) Elektricität, von der verminderten Dichtigkeit bestimmter Punkte der Collectorplatte herzuweisen. Wir verweisen hier auf Messungen, die Rieß *) an Condensatoren angestellt hat, bei verschiedener Größe der Platten und bei verschiedener Entfernung derselben. Es zeigte sich, daß der Vortheil größerer Condensatoren nicht, wie Viot nach seiner Formel ausjagt, darauf beschränkt ist, eine absolut größere Ansammlung von Elektricität zu gestatten, sondern daß die Ansammlung auch relativ größer ist, so daß der größere Condensator auf der Flächeneinheit mehr Elektricität aufzunehmen vermag als der kleinere. Wurde die Entfernung der Platten vergrößert, so fand sich die aufzunehmende Elektricitätsmenge im Allgemeinen nicht im umgekehrten Verhältniß der Entfernungen verringert, sondern in einem geringeren.

Tag und Nacht. Tag, der astronomische oder bürgerliche, ist die Zeit einer scheinbaren Umdrehung des Himmels; der natürliche die Zeit, während welcher die Sonne über dem Horizonte eines Ortes steht. Zum astronomischen Tage gehört ein natürlicher Tag und eine Nacht, derselbe umfaßt 24 gleiche Zeittheile: Stunden. Da die tägliche Umdrehung des Himmels nur eine Erscheinung der Umdrehung der Erde um ihre Ase ist, so folgt, daß sich die Erde binnen 24 Stunden einmal um ihre Ase dreht. Jeder Fixstern scheint genau während dieser Zeit einmal um die Erde herum zu gehen, so daß er nach Verlauf von 24 Stunden stets genau wieder dieselbe Stellung wie vorher einnimmt. Nur die Sonne macht eine Ausnahme, weil auf die scheinbare Bewegung dieser auch die jährliche Bewegung der Erde in ihrer Bahn von Einfluß ist. Diese Bewegung ist an den Fixsternen wegen der allzugroßen Entfernung derselben von der Erde nicht merklich. (Vergl. d. Art. Parallaxe.) Die Tage der Sonne aber sind aus dem angeführten Grunde ungleich. (S. d. Art. Zeit.) Die Astronomen pflegen die Stunden von dem Augenblicke an zu zählen, wo die Sonne durch den Meridian des Beobachtungsortes geht (culminirt), also von Mittag an, und zählen dann fort bis zum nächsten Mittag, 24 Stunden. Der bürgerliche Tag wird gewöhnlich von Mittag bis Mitternacht 12 Stunden und von da bis zum nächsten Mittag wieder 12 Stunden gezählt. In Italien wurde jedoch bisher von einem Untergange der Sonne bis zum nächsten, bis 24 Stunden fortgezählt. Um daher die italienischen Stundenangaben mit den unsern zu vergleichen, muß man die Zeit des Sonnenunterganges in den verschiedenen Jahreszeiten berücksichtigen. Der natürliche Tag, welcher von einem Sonnenaufgang bis zum nächsten Sonnenuntergang reicht, ist von sehr ungleicher Länge, sowohl an den verschiedenen Orten der Erde als an demselben Orte in den verschiedenen Jahreszeiten.

Nacht heißt (in der Astronomie) die Zeit von einem Sonnenuntergange bis zum nächsten Sonnenaufgange. Die Nacht macht den Gegensatz des Tages aus, wenn man unter Tag die Zeit von einem Sonnenaufgang bis zum nächsten Sonnenuntergange versteht; einen Theil des Tages, wenn man unter Tag die Zeit von einem Mittag bis zum nächsten begreift. Während der Nacht befindet sich die Sonne scheinbar unterhalb der Erde, in Bezug auf den Ort, wo jene herrscht, oder die Erde kehrt diejenige Seite, auf welcher dieser Ort liegt, von

*) N. a. D. S. 379.

der Sonne ab. So wie sich die Erde um ihre Ase umbreht, kehrt sie nach und nach jeden Ort erst der Sonne zu, dann von ihr ab, und so wechseln für jeden Ort Tag und Nacht. Da sich die Sonne während der Nacht unterhalb des Horizontes befindet, während des Tages oberhalb desselben, so wechseln wie Nacht und Tag, so auch Finsterniß und Licht. Da das Licht nicht augenblicklich der Finsterniß weicht, so wie die Sonne unter den Horizont sinkt, und eben so das Licht nicht augenblicklich die Finsterniß verdrängt, so wie die Sonne über den Horizont sich erhebt, sondern der Wechsel zwischen Licht und Finsterniß (durch die Dämmerung) stets allmählig geschieht, so rechnet man im gemeinen Leben die Länge der Nacht nicht genau nach dem Gange der Sonne, sondern kürzer, von dem Aufhören der Abenddämmerung bis zum Anfange der Morgendämmerung.

Nur unter dem Aequator ist die Nacht (nach astronomischer Bestimmung) stets eben so lang als der Tag und jede Nacht der anderen gleich. An den meisten Orten der Erde findet in dieser Beziehung eine sehr große Verschiedenheit statt. Bei uns ist bekanntlich zweimal des Jahres Tag und Nacht gleich lang, außerdem aber ist die Nacht entweder länger oder kürzer als der Tag. Zur Zeit der zwei Nachtgleichen ist auf der ganzen Erde Tag und Nacht völlig gleich, also jedes 12 Stunden lang. Zu der Zeit wo wir den längsten Tag haben, geht unter dem Polarkreise die Sonne gar nicht unter, sondern steht 24 Stunden über dem Horizonte, und während wir die längste Nacht haben, herrscht unter dem Polarkreise eine Nacht von 24 Stunden. Je näher man den Polen kommt, desto länger dauert der längste Tag, desto länger auch die längste Nacht und unter dem Pole selbst wechselt das ganze Jahr hindurch nur einmal Tag und Nacht, indem die Nacht 6 Monate und eben so lange der Tag währt. Die Nacht wird übrigens durch verschiedene Umstände, namentlich in den Gegenden, wo sie am längsten ist, bedeutend abgekürzt. Die Astronomen nehmen als Grenzen der Nacht die Augenblicke an, in denen der Mittelpunkt der Sonne im Horizont steht. Da aber die Sonne einen merklichen Durchmesser hat, so leuchtet der obere Sonnenrand noch wenn die Nacht begonnen, und schon ehe sie aufgehört hat. In unseren Gegenden ist dieser Umstand von nur geringem Einfluß, am Pole aber bleibt der obere Sonnenrand 16 Stunden länger über dem Horizont als der Mittelpunkt der Sonne. Bedeutender wird die Nacht durch die Strahlenbrechung abgekürzt. Diese ist Ursache, daß bei uns die Sonne 4 Minuten eher und 4 Minuten später noch gesehen wird, als sie eigentlich wirklich auf- und untergeht. Viel größer noch ist der Einfluß der Strahlenbrechung in den Polargegenden. Holländer, die im J. 1597 auf Nova-Zembla übernachteten, wollen die Sonne schon den 24. und 27. Januar gesehen haben und nach dieser Angabe wäre die Polarnacht damals um 2 Wochen abgekürzt gewesen. Endlich bewirkt die Dämmerung eine bedeutende Abkürzung der Nacht, wiederum am stärksten in den Polargegenden. Zur Zeit der längsten Tage ist die kurze Nacht so von der Dämmerung erleuchtet, daß eine tiefe Finsterniß gar nicht eintritt. Während der langen Nächte tritt eine Dämmerung ein, sobald sich die Sonne dem Horizonte nähert, auch wenn sie nicht über denselben emportritt. — Die Mitte der Nacht, 12 Stunden nach und 12 Stunden vor Mittag heißt Mitternacht. Zur Zeit der Mitternacht an einem bestimmten Orte geht die Sonne durch den Meridian desselben auf der anderen Seite der Erde.

Da sich jeder Stern des Himmels im Laufe eines Tages scheinbar einmal um die Erde herumbewegt und dabei einen Parallelfreis (s. d. Art.) beschreibt, so werden die Parallelfreise auch *Tagekreise* genannt, und zwar heißt derjenige Bogen dieses Kreises, welcher über dem Horizonte liegt, der *Tagebogen* des Sternes. Diejenigen Sterne, deren Tagekreise mit dem Aequator zusammenfallen, haben einen Tagebogen von 180° , während für die Bewohner der nördlichen Halbkugel der Erde die Tagebogen der Sterne der nördlichen Hemisphäre einen Tagebogen von mehr als 180° , und die der südlichen Hemisphäre einen Tagebogen von weniger als 180° haben. Der Tagebogen derjenigen Gestirne, welche um weniger vom Pole abstehen als die Polhöhe beträgt, ist 260° , d. h. der ganze Tagekreis wird zum Tagebogen, und für Gestirne in der Nähe des Südpols ist für uns Bewohner der nördlichen Erdhälfte der Tagekreis $= 0$. Die Sterne um den Nordpol, heißt dieses mit anderen Worten, gehen für uns niemals unter, während die Sterne um den Südpol für uns niemals aufgehen.

Calcium, s. **Magnium**.

Tangentialkraft, s. **Bewegung**, Bd. I. S. 830.

Tantal, ein in der Natur sehr selten vorkommendes Metall. Chemisches Zeichen: Ta. Äquivalent: 1148,365 ($O = 100$) oder 92,02 ($H = 1$).

Gediegen findet sich das Tantal nicht, sondern nur als Tantalsäure in Verbindung mit den Oxyden von Eisen, Mangan, Yttrium, Uran, Wolfram in nur wenigen Mineralien; im Tantalit (Columbit), Yttertantalit und Fergusonit, die zwar nur in geringen Mengen, aber doch an ziemlich zahlreichen Orten in Schweden, Sibirien, Grönland, Nordamerika, Spanien (St. Ildefonso), Frankreich (Limoges) und Baiern (Bodenmais) vorkommen und zwar im Granit, Quarz und Gneiß. Hermann hat (Journ. f. prakt. Chem. Bd. L. S. 197) eine systematische Einteilung der Tantalerze gegeben.

Schon 1801 entdeckte Hatchett in einem Mineral aus Massachusetts in Nordamerika ein neues Metall, dem er den Namen Columbium beilegte. Eine gleiche Entdeckung machte 1802 Gæberg bei Untersuchung des Tantalit und Yttertantalit. Er nannte das Metall Tantal, um gleichzeitig auf die Unfähigkeit desselben, mitten in einem Ueberfluß von Säure etwas an sich zu reißen und sich damit zu sättigen, anzuspoken. 1809 zeigte Wollaston, daß das Columbium und das Tantal identisch seien; nach Berzelius aber soll das später von H. Rose entdeckte Niobium dem Columbium gleichen.

Metallisches Tantal wurde zuerst 1824 aus dem Fluortantal-Fluorkalium mit Kalium dargestellt; bis dahin hatte man die niedrigste Oxydationsstufe des Tantal für das Metall selbst gehalten. Nach H. Rose stellt man das Tantal durch Zersetzen der Chlorverbindung durch Ammoniakgas dar. Auf die zuerst angeführte Art dargestellt bildet das Metall ein schwarzes, schweres Pulver, das unter dem Polirstahl stahlgrau wird; nach Rose's Methode erhält man das Metall in schwarzen Rinden, die vom Wasser nicht verändert werden. An der Luft erhitzt verbrennt das Tantal unter starker Feuererscheinung zu welker Tantalsäure; es ist unschmelzbar und mit Ausnahme einer Mischung von Salpeter- und Fluorwasserstoffsäure in Säuren unlöslich. Beim Schmelzen mit fixen Alkalien oxydirt

es sich gleichfalls. Die ausführlichsten Untersuchungen über dieses Metall verdanken wir Berzelius *) und H. Rose **).

Das Tantal verbindet sich mit dem Sauerstoff in zwei Verhältnissen. Das Tantaloryd oder die tantalige Säure (TaO) besitzt eine dunkelgraue Farbe, ritzt Glas und ist in Säuren unlöslich. Die Tantalsäure ($Ta^2 O^3$) ist ein weißes geschmackloses Pulver, unlöslich, unschmelzbar und in der Wärme unzersehrbar. Die Tantalsäure löst sich in Fluor- und Chlornwasserstoffsäure und zeigt große Ähnlichkeit mit der Zinnsäure. Mit letzterer ist die Tantalsäure häufig verunreinigt. Die Zinnsäure kann nur durch Schmelzen mit Schwefel und Soda entfernt werden, nicht aber durch bloße Digestion mit Schwefelammonium. Spec. Gewicht = 6,78. H. Rose ist neuerer Zeit der Ansicht, daß die Tantalsäure aus 2 Atomen Sauerstoff und 1 At. Metall besteht. Dadurch würden sich die Zusammensetzungen der meisten Verbindungen sehr befriedigend erklären lassen. Die Formel für die Tantalsäure wäre demnach TaO^2 und das Aequivalent 860,26. Gmelin hat die Tantalsäure in prismatischen Krystallen dargestellt ***).

Aus dem Chlorid wird die Tantalsäure durch Wasser als Hydrat ($Ta^2 O^3 + 3 HO$) abgeschieden; dasselbe ist löslich in kausischem und saurem oxalsaurem Kali und röthet auch Lackmuspapier. — Mit den Basen bildet die Tantalsäure Salze, die theils löslich, theils unlöslich sind; durch stärkere Säuren wird die Tantalsäure daraus als Hydrat abgeschieden; Gallustinctur bringt in den Auflösungen einen pomeranzengelben Niederschlag hervor. — Das Chlorid $Ta^2 Cl^3$ wird in gelblichen Prismen, die bei $221^{\circ} C.$ schmelzen, erhalten, wenn man Chlorgas über ein bis zum Glühen erhitztes Gemenge von Tantalsäure und Kohle leitet. Erhitzt man Tantalsäure in den Dämpfen von Schwefelkohlenstoff, so bildet sich Schwefeltantal $Ta^2 S^3$, eine graue, metallisch glänzende, dem Graphit ähnliche Masse.

In neuerer Zeit hat H. Rose in gewissen Tantaliten noch zwei andere Metalle entdeckt, die einerseits mit dem Tantal sehr große Ähnlichkeit haben, andererseits selbst noch nicht gehörig erforscht sind, so daß wir uns begnügen hier nur die Namen anzuführen. Sie heißen Pelop (Pp) und Niob (Nb), so benannt nach Pelops, dem Sohne, und Niobe, der Tochter des Tantalus. Nach genaueren Untersuchungen hat sich jedoch H. Rose dahin entschieden, daß die beiden letzteren Metalle identisch sind. In Folge dessen hat er den Namen Pelop kassirt.

Desgleichen will auch Hermann in bestimmten Tantaliten noch ein anderes Metall Ilmenium entdeckt haben, dessen Existenz indessen noch sehr unsicher ist. W. B.

Taßinn, s. Sinne.

Taucherglocke ist eine Vorrichtung, deren man sich bedient, um längere Zeit in der Tiefe des Wassers, namentlich des Meeres verharren zu können, welches allein möglich ist, wenn hinlänglich Luft zum Athmen vorhanden ist. Im

*) Schweigger's Journ. Bd. XVI. S. 437. Pogg. Ann. Bd. IV. S. 6.

**) Pogg. Ann. Bd. LXIX. S. 115; Bd. XC. S. 456. Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVIII. S. 114; Bd. LXIX. S. 468. Bericht d. Berliner Akad. 1836. S. 399. 1837. S. 16. 116. 206. 282. 388 u. 401.

***) Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. XXXIII. p. 34.

Allgemeines ist die Tauherglocke ein Gefäß, welches nur nach einer Seite offen ist, früher gewöhnlich von Glockenform (daher der Name), und welches mit der Oeffnung nach unten gekehrt in das Wasser hinabgelassen wird. Die Luft, welche in einem solchen Gefäße enthalten ist, wird zwar beim Herabsinken in die Tiefe dem Mariottischen Gesetze gemäß (s. d. Art. Gas) zusammengepreßt, aber kann vom Wasser abgesclossen nicht entweichen und läßt das Wasser selbst in das Innere des Gefäßes nicht eindringen, so daß der Taucher, sofern er nur das Haupt unter der Glocke hat, Athem holen kann, so lange bis die Luft durch das Athmen selbst allzusehr verdorben, d. h. ihr Sauerstoffgehalt aufgezehrt ist. Man hat aber Vorkehrungen getroffen, die verdorbene Luft durch frische zu ersetzen. Von der Richtigkeit des Prinzips, auf dem die Tauherglocke beruht, kann man sich leicht überzeugen, wenn man in ein Gefäß mit Wasser ein umgekehrtes Glas so eintaucht, daß alle Punkte des Randes zugleich das Wasser berühren. Das Wasser wird dann das Glas nicht auszufüllen vermögen. Die Tauherglocke scheint schon in sehr frühen Zeiten bekannt gewesen zu sein *). Ein solches Instrument, welches aus einem glockenförmigen Gefäße von 36 Zoll unterer Weite und eben so großer Höhe bestand, und an dem unten ein Fußschemel hing, auf welchem ein Mann stehen konnte, so daß Kopf und Arme desselben unter der Glocke sich befanden, wurde 1687 durch William Bhipps mit Glück angewendet, um aus einer Tiefe von 6 bis 7 Klaftern die Schätze zu holen, welche an der Küste von Hispaniola mit einem spanischen Schiffe versunken waren **). Edmund Halley verfertigte eine Glocke von 8 Fuß Höhe, 5 Fuß Weite am unteren und 3 Fuß am oberen Ende, welche einen Raum von 63 Cubikfuß einnahm, mit Blei überzogen und so schwer war, daß sie schon leer zu Boden sank. Am unteren Rande waren Gewichte so vertheilt, daß sie dadurch stets horizontal erhalten wurde. Oben war ein starkes Glas eingesetzt, um dadurch Licht zu erhalten. Die ganze Vorrichtung hing an einem Querbalken am Mastbaume des Schiffes. Eine kreisförmige Bank diente als Sitz. Zum Ersatz der verdorbenen Luft benutzte man einige mit Blei beschwerte Tonnen, die am Boden mit einem Loch versehen waren, durch welches das Wasser eindringen konnte. In ein anderes Loch, das sich oben im Deckel befand, wurde ein lederner mit Del getränkter Schlauch gesteckt, der abwärts gebogen die Luft nicht entweichen ließ; sobald er jedoch von einem Taucher erfaßt und unter der Glocke aufwärts gebogen wurde, drängte das nachfolgende Wasser die Luft heraus. Der Taucher erhielt so respirable Luft, und konnte die in der Glocke verdorbene Luft mittels eines Hahnes herauslassen. Hierdurch brachte es Halley so weit, daß er sich auf der Themse zu London nebst 4 Personen 9 — 10 Klaftern tief unter Wasser 1½ Stunde aufhalten konnte. Durch die Glasscheibe fiel so viel Licht in die Glocke, daß er bei stiller See lesen und schreiben konnte; mit einem eisernen Griffel schrieb er seine Befehle auf Blei, und sandte sie mit den leer gewordenen

*) Beschreibungen derselben finden sich bei Schott, *Technica curiosa* L. VI. c. 9. p. 393, Baco, *Novum organon* L. II. §. 30 in Opp. lat. transl. Lips. 1694. fol. p. 408, *Phaenomena universi* ib. p. 707, bei Sinclair, *ars nova et magna gravitatis et levitatis*. 1669, bei H. Witsen, *Sheeps-Bouw*. Amst. 1671. fol. p. 288, Rees, *Cyclopaedia*. Lond. 1819. T. XII. Art. Diving-Bell, bei Leupold, *Theatrum pontificiale*. Leipz. 1726. Cap. II. Taf. I. — III.

**) Martin, *Description of the Western Islands* 1716. Campbell, *Political Survey of Britain*. 1774.

Lustschläuchen hinauf. Bei stürmischer See hingegen war es unten ganz finstern, und er mußte ein Licht brennen, welches aber fast eben so viel Luft, als ein Mensch, verzehrte. Die einzige Beschwerde, die er empfand, war ein Schmerz in den Ohren, welcher von der Verdichtung der Luft beim Hinablassen der Glocke entstand, aber bald nachließ, wenn die Glocke nur sehr langsam hinabsank. Um einen Taucher aus der Glocke auf den Meeresgrund verschicken zu können, benutzte Halley eine bleierne Kappe, welche für ein Paar Minuten Luft faßte, über den Kopf gedeckt wurde, und durch ein dichtes biegsames Rohr mit der Glocke verbunden war. — Da Halley's Vorrichtung viel Kostenaufwand erforderte, so gab der Schwede Martin Triewald *) eine wohlfeilere an. Die Glocke derselben war viel kleiner, von Kupfer, und inwendig verzinkt.

In neuerer Zeit hat man sich der Taucherglocken namentlich in England beim Hafenbau bedient, und ihnen eine von Smeaton **) vorgeschlagene Einrichtung gegeben. Sie werden in einer länglich vierkantigen Form aus Gußeisen verfertigt, sind unten an der Oeffnung etwa 8 bis 12 Fuß lang, 6 Fuß und darüber breit und eben so hoch. Im Innern befindet sich eine Bank für die Arbeiter und deren Werkzeuge. Oben auf dem Deckel ist an beiden Seiten ein starker metallener Halter angebracht, um die Haken der Ketten hineinzuhängen, welche zur Erhaltung des Gleichgewichtes in eine einzige starke Kette zusammengehen und zum Tragen des schweren Apparates dienen. Vermittelt eines drehbaren Kranes kann man den Apparat hinablassen und heraufziehen, denselben auch so weit über das Wasser heben, daß die Arbeiter in einem Rahne unter die Glocke fahren und hier ihre Sitze einnehmen können. In der Mitte des Apparates befindet sich eine Oeffnung mit einem eingeschrobenen biegsamen Schlauche, durch welchen auf dem Lande mittelst einer starken Compressionspumpe sogleich, nachdem man angefangen hat, die Taucherglocke im Wasser herabzulassen, unausgesetzt frische Luft hineingepreßt wird, und zwar in solcher Menge, daß die Blasen unter dem Rande des überfüllten Apparates stets entweichen. Hierdurch begegnet man nicht bloß dem Verderben der eingeschlossenen Luft, sondern auch dem Eindringen des Wassers in den inneren Raum, wenn die abgesperrte Luft durch den starken Druck der umgebenden Wassersäulen comprimirt wird; und wenn dann die Taucherglocke auf eine Ebene niedersinkt, so ist der Boden nur mit einer Wasserschicht von sehr geringer Tiefe bedeckt. Endlich halten die Arbeiter noch ein unter dem unteren Rand hingehendes, nach oben geführtes Seil, um damit die erforderlichen Zeichen zu geben.

Telegraphie. Es ist begreiflich, daß bei dem Zusammenleben der Menschen, schon frühzeitig, in Folge wichtiger Ereignisse, besonders in Kriegszeiten der Wunsch rege werden mußte, sich gegenseitig Mittheilungen auf Entfernungen machen zu können, für welche zunächst die menschliche Stimme nicht ausreicht, bis auf weit entlegene Orte, die selbst von abgesendeten Eilboten nicht schnell genug erreicht werden können. Wir finden daher, daß schon die Alten von dieser Kunst in ihren Schriften Erwähnung machen, wenn gleich die Schwierigkeit der Ausführung für große Entfernungen, bei den Mitteln, welche den alten Völkern bekannt waren, keine ausgedehnte Anwendung zuließ.

*) Phil. Transact. 1736. Konstat lefwa under watnet. Stockh. 1741.

**) Biblioth. univ. T. XIII. p. 230.

Die Art und Weise Mittheilungen in der Ferne zu machen, beschränkt sich entweder auf gewisse, an einem fremden Orte wahrnehmbare Zeichen, denen man früher durch Uebereinkunft eine bestimmte Bedeutung gegeben hat, und welche ganze Begriffe und Sätze umfassen, oder man wählt schnell herzustellende und eben so leicht in der Ferne aufzufassende Zeichen, denen man z. B. die Bedeutung unserer Schriftzeichen giebt, mittelst welcher man jeden willkürlichen Gedanken mitzutheilen im Stande ist. Die erste Art nennt man Signalkunst, die zweite bezeichnet man mit dem Namen Telegraphie (Fernschrift, Fernschreibekunst, von *της* fern, und *γραφειν* schreiben). Von der Signalkunst kann man bei unvorhergesehenen, also nicht besprochenen Fällen keinen Gebrauch machen, während die Telegraphie, wie jede Schriftsprache, in ihrer Anwendung unbegrenzt ist.

Arten der Telegraphen. In der Telegraphie, wie auch in der Signalkunst, werden zur Weiterbeförderung der Mittheilungen in die Ferne gewisse Naturkräfte in Anspruch genommen, deren Wirksamkeit in dieser Beziehung mit der Schnelligkeit des Gedankens gewissermaßen Schritt hält. Wir finden daher in verschiedenen Schriften Vorschläge zu akustischen, mechanischen (eigentlich optischen), pneumatischen, hydrostatischen und elektrischen Telegraphen ausgezeichnet, je nachdem die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles, des Lichtes, des pneumatischen und hydrostatischen Druckes und der Elektricität als Mittel dienen, Nachrichten in kürzester Zeit an den Ort ihrer Bestimmung gelangen zu lassen. Diese Vorschläge können, nach Umständen modificirt, in ihrer Ausführung bald zum Signalfiren, bald zum eigentlichen Telegraphiren angewendet werden, daher wir die Signalkunst, aus der sich die eigentliche Telegraphie entwickelt hat, mit in die nachfolgende Besprechung aufnehmen. Die Entfernung, auf welche man durch Vermittelung der erwähnten Naturkräfte unmittelbar eine telegraphische Nachricht kund geben kann, ist durch Umstände, welche in der Einrichtung der Natur ihren Grund haben, oder auch durch Localverhältnisse begrenzt. Man ist daher nach Umständen genöthigt, für große Distanzen Zwischenstationen anzulegen, von denen jede die Nachricht empfängt und sie an die andere weiter telegraphirt. Eine solche Reihe von Stationen nennt man eine Telegraphenlinie.

Die telegraphische Schriftsprache. Was man für Zeichen in der Telegraphie bei den verschiedenen Vorschlägen gewählt hat, werden wir später sehen; um aber eine Einsicht in die Art und Weise des Telegraphirens überhaupt zu erlangen, wollen wir zeigen, wie es überhaupt möglich wird, durch wenig Zeichen alle Gedanken auszudrücken. Beim Signalfiren bestimmter Begriffe hat die Anwendung der Zeichen natürlich keine Schwierigkeit, und der am entfernten Orte im Einverständnisse aufmerkende Beobachter hat bloß die Wahrnehmung nicht zu veräumen, um zu wissen, woran er sich zu halten habe. Ist man aber übereingekommen, Buchstaben durch Zeichen auszudrücken, um aus ihnen Wörter und Sätze zusammenzusetzen, so geschieht dies nach dem Gesetze der Combinationen; jeder Buchstabe wird durch eine Combination der disponiblen Zeichen dargestellt. Uebrigens genügen die Buchstaben des Alphabets allein nicht zum Telegraphiren, man muß auch Ziffern und die nöthigen Unterscheidungszeichen signalfiren können; man braucht ferner, je nach dem System, ein Zeichen, um das Ende eines Wortes kund zu geben, eben so eines, um die Aufmerksamkeit des Beobachters an der nächsten Station zu erregen. Natürlich muß an der zweiten Station dasselbe zum Beweise der Aufmerksamkeit wiederholt werden, worauf erst die

telegraphische Correspondenz beginnt. Hat man zufällig im Contexte ein unrichtiges Zeichen gegeben, so ist es nothwendig, dieses schnell der nächsten Station anzuzeigen, daher man bei jeder Telegraphenlinie ein Uebereinkommen zu treffen hat, wie in einem solchen Falle der gemachte Fehler signalisirt und schnell corrigirt werden könne; kurz die Erfahrung führt auf eine Menge von Dingen, welche beachtet werden müssen, und die theilweise die gesammte Telegraphie betreffen, theilweise von der Einrichtung des jedesmaligen Telegraphen selbst abhängen, und die wir durch die Auseinanderlegung der Einzelheiten ohnedies näher kennen lernen werden.

Der Gedanke in Buchstaben zu telegraphiren liegt sehr nahe; allein je weniger Zeichen bei dem einen oder anderen Telegraphen zu Gebote stehen, desto complicirter werden die Combinationen für die einzelnen Buchstaben, desto längere Zeit braucht man, um einen ganzen Satz zu telegraphiren. — Um die Anzahl der Zeichen in einem Satze so viel wie möglich zu verringern, bezeichnet man jene Buchstaben, welche in der Sprache häufiger vorkommen, wie z. B. die Selbstlaute, mit den einfacheren Zeichen. Wir werden später beim Alphabet des Morse'schen Telegraphen ein Beispiel davon kennen lernen.

Bei jenen Telegraphen nun, welche sehr viele verschiedene, aber immer einfache Zeichencombinationen zulassen, so daß für jeden einzelnen Buchstaben, für jede Ziffer u. eine eigene Zeichencombination angewendet werden kann, ist zwar dieser Uebelstand theilweise, aber immer noch nicht genügend gehoben; man braucht dennoch viel mehr Zeit als es wünschenswerth ist, den Satz am Telegraphen herab zu buchstabiren, und nur dort, wo der Zeichenwechsel sehr schnell geschehen kann, wie beim elektrischen Telegraphen, behält man diese Methode bei. Sonst construirt man sich ein eigenes telegraphisches Wörterbuch von ungefähr 10000 Wörtern, mit welchen man für die gewöhnlichen Fälle vollkommen ausreicht, und in welchem natürlich auch die einzelnen Buchstaben, Zahlzeichen u. enthalten sind. Jedes dieser lexicographisch geordneten Wörter bezeichnet man mit Ziffern von 1 angefangen bis 9999. Hat man nun von den Zeichen, die der Telegraph geben kann, die zehn passendsten, also die zehn auffallend verschiedensten ausgewählt, so bezeichnet man durch sie die zehn Zahlzeichen. Man schreibt den zu telegraphirenden Satz auf, setzt unter jedes Wort die im Lexicon dabei stehende Zahl, und telegraphirt so mittelst der Zahlzeichen, eine Zahl nach der anderen; der entfernte Beobachter notirt sich diese Zahlen, und findet im Wörterbuch ihre Bedeutung. Auf diese Weise können die Wörter noch so viele Buchstaben haben; man braucht doch nur für jedes höchstens vier Zeichen, wodurch sich bei einem Satze, der aus 12 bis 15 Wörtern besteht, leicht eine Ersparniß von 15 bis 20 Zeichen ergibt. Ja, wenn der Telegraph 100 einfache Zeichen darzustellen erlaubt, so bestimmt man für jede Zahl von 1 bis 100 ein Zeichen, wo dann das Wörterbuch so eingerichtet sein muß, daß es 100 Seiten umfaßt, während auf jeder Seite 100 Wörter stehen. Man braucht dann für jedes Wort nur zwei Zeichen; das erste zeigt an, auf der wievielten Seite — das zweite, an welcher Stelle es auf dieser Seite steht. — Muß ein Wort telegraphirt werden, welches nicht im Lexicon aufgeführt ist, wie z. B. ein Eigennamen, so wird dieser mit den ebenfalls im Lexicon befindlichen und wie die einzelnen Wörter bezeichneten Buchstaben gegeben. Die Abfassung eines solchen Wörterbuches ist eine schwierige Aufgabe, wenn es seinen Zweck auf die möglichst einfache Weise erfüllen soll. Natürlich wird sie um so

leichter sein, je einfacher die Grammatik der Sprache ist, in welcher das Buch abgefaßt werden soll. Ueberhaupt muß auch derjenige, welcher die telegraphische Depesche stillt, darauf Rücksicht nehmen, die Worte so zu stellen und zu wählen, daß keine Zweideutigkeit entstehen und der Satz vollkommen verstanden werden kann, wenn auch die Beugungen der Wörter, so wie sie das Wörterbuch liefert, nicht grammatisch richtig sind. Man hat auch ein Silbenlexicon, in welchem Stamm- und Beugungssilben, eben so wie die Wörter mit Zahlen bezeichnet sind, vorgeschlagen, aus welchen man dann die zu gebrauchenden Wörter zusammensetzen kann; oder man bezeichnet die Endungen, die Zeiten u. durch eigene Zeichen, welche man den jeweiligen Wörtern anhängt. — Es ist klar, daß die telegraphische Schriftsprache, da sie auf einem Uebereinkommen beruht, auch eine Geheimschrift ist, welche nur diejenigen verstehen, welche in das Geheimniß eingeweiht sind. Bei Anwendung von Wörterbüchern ist dieses um so leichter zu bewahren, als man nur darauf zu sehen hat, daß sich die Lexica in den Händen vertrauter Personen befinden, welche am Anfange und am Ende der Telegraphenlinie, oder in wichtigen Zwischenstationen angestellt sind.

Telegraphirt man mit Buchstaben, so können die Depeschen zwar selbst von Personen, welche den Schlüssel nicht wissen, so wie jede einfache Zeichenschrift durch die bekannten Mittel dechiffriert werden, wenn diese Personen, je nach Einrichtung des Telegraphen, entweder die Zeichen selbst wahrnehmen, oder wenn sie ihnen auf irgend eine Weise zur Kenntniß kommen. Es ist daher anzurathen, dort, wo es sich um wichtige Geheimnisse handelt, den Schlüssel, also die Bezeichnung des Alphabets nach Uebereinkommen öfter zu wechseln, oder mit Wörterbüchern zu telegraphiren. Alle bei den Telegraphen manipulirende Personen brauchen eigentlich die Zeichen der Schrift gar nicht zu kennen, sie haben dieselben bloß mechanisch nachzumachen; wohl müssen ihnen aber gewisse zur Manipulation gehörige Zeichen, z. B. das Fehlerzeichen und andere durch die Praxis bedingte Zeichen, geläufig sein. Bei der elektrischen Telegraphie, welche dem großen Verkehr zur Benützung offen steht, wird natürlich von der geschriebenen Depesche abtelegraphirt.

Ueber akustische Signalkunst und Telegraphie. Die Schallwellen pflanzen sich in freier Luft von dem Orte aus, wo sie erregt werden, mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit von ungefähr 1050 W. Fuß für die Secunde nach allen Richtungen sphärisch fort; aber eben in Folge dieser Ausbreitung über eine immer größere Luftmasse, nehmen sie an Stärke ab, woher es kommt, daß durch sie auf größere Distanzen unser Gehörorgan nur dann afficirt wird, wenn ihre ursprüngliche Intensität ziemlich bedeutend war. Die menschliche Stimme wird in der Regel bei ruhiger Luft und ringsum herrschender Stille höchstens auf 130 bis 140 Klafter deutlich vernommen, während man den Kanonendonner bei der Belagerung von Genua 22 deutsche Meilen weit gehört haben soll. Uebrigens haben der jeweilige Zustand der Luft, so wie auch Localverhältnisse einen bedeutenden, theils fördernden, theils hemmenden Einfluß auf die Weite, in welcher noch ein Schall wahrgenommen wird. Nach einem Berichte des Lieutenant Forster konnte im nördlichen Eismeere ein Gespräch auf die Distanz von 6696 Fuß ohne Anstrengung geführt werden, während in einigen Fällen der Schall des schweren Geschüßes schon in einer Entfernung von nur wenigen Stunden nicht mehr gehört wurde. Es wird also bei Vorschlägen zu akustischen Signalen und

Telegraphen im Allgemeinen darauf ankommen, entweder die zweckmäßigsten Mittel anzuwenden, wodurch selbst ein mäßig starker Schall auf große Entfernungen noch deutlich vernommen werden kann (Sprachrohr, Communicationsrohr); oder gleich von vorne herein solche Schallquellen anzuwenden, welche die Luft in bedeutende Vibration versetzen, wie dies der Fall ist bei starken musikalischen Instrumenten, beim Abfeuern der Kanonen u., wobei man aber nach dem früher Gesagten besonders auf die Localverhältnisse Rücksicht zu nehmen hätte.

Bedeutend weiter als die menschliche Stimme, reicht der Ton von Trompeten, Trommeln und dergleichen, daher schon seit alten Zeiten mit ähnlichen Instrumenten im Felde die Signale gegeben wurden. So wurde von den Griechen die Meer-schnecke, von den Römern die Tuba zum Geben der Kriegssignale benutzt, und Jedermann weiß, daß noch gegenwärtig bei dem Militär die Art und Weise, wie die Trompeten geblasen und die Trommeln gerührt werden, für die Mannschaft eine bestimmte Bedeutung hat, so z. B. das Blasen zum Angriff, das Blasen zum Rückzug, die Reveille, der Appel, der Zapfenstreich, der Generalmarsch u. Auf Schiffen, wo oft das Brausen des Meeres jeden schwächeren Laut übertäubt, und auch die Entfernungen, auf welche man zu signalisiren wünscht, zu bedeutend sind, dient der Donner der Kanonen als Signalmittel.

In Rücksicht der eigentlichen auf Akustik basirten Telegraphie finden wir im Diodorus eine Erzählung, daß bei den alten Persern Nachrichten durch in Reihen aufgestellte Menschen (Sclaven), welche sich dieselben zuschrieben, in dreißigmal kürzerer Zeit als durch abgesendete Boten an den Ort ihrer Bestimmung gelangt sein sollen. So unpraktisch diese Art zu telegraphiren überhaupt ist, so hat man dennoch zu demselben Zwecke die Anwendung von Sprachröhren empfohlen, wodurch man freilich je zwei Personen 3000 bis 4000 Fuß von einander entfernt aufstellen könnte, und wo dann acht, ja selbst sechs Personen für die Meile ausreichen würden. In die neuere Zeit fallen nun folgende Vorschläge.

Jobard's Logophor. Jobard und Stieldorf haben ungefähr um das Jahr 1833 die Anwendung von unterirdischen Röhren zur Fortleitung der menschlichen Stimme anempfohlen, deren Schall auf diese Weise noch in einer Distanz von zwei Meilen deutlich vernommen werden kann. Die Erfinder nennen diesen Röhrenapparat Logophor (Sprachträger) und damals war die Rede, daß eine solche Verbindung zwischen Brüssel und Antwerpen eingeleitet werden sollte. Uebrigens hat schon Don Gauthier im Drittel des vorigen Jahrhunderts in einer Anzeige betitelt: „Expérience sur la propagation du son et de la voix dans des tuyaux prolongés“ ebenfalls den Vorschlag gemacht, verschlossene Kanäle zur Schallfortpflanzung zu benutzen. Er stellte seine Versuche an der Röhrenleitung zu Chaillot an, und glaubt sich durch gelungene Versuche zum Ausdruche berechtigt, daß Krümmungen der Röhren durchaus nicht so nachtheilig wirken, daß man ihren Einfluß wahrnehmen könnte. Die Versuche Biot's, Malus' und Anderer, welche diesen Gegenstand von naturwissenschaftlicher Seite aufgefaßt haben, ohne gerade von eigentlicher Gedankenmittheilung zu sprechen, sind den Physikern hinlänglich bekannt. Auch Kommerßhausen hat vor kurzer Zeit diesen Vorschlag wieder in Anregung gebracht.

Arnold's telegraphisches Communicationsmittel. Arnold meint, wenn man ein Sprachrohr gegen einen großen Hohlspiegel so richten

würde, daß die Axen beider Apparate in eine gerade Linie fielen, so müßte ein Beobachter, dessen Ohr sich in dem Brennpunkte des Spiegels befindet, alle durch das Sprachrohr gesprochenen Laute noch mit bedeutender Intensität vernehmen, auch wenn Sprachrohr und Spiegel sehr weit von einander entfernt wären. Dagegen läßt sich vom theoretischen Standpunkte gerade nichts einwenden, wohl aber vom praktischen. Allein die Thatsache, welche Dr. Arnold auf diesen Gedanken gebracht hat, ist eben nicht uninteressant. Er befand sich auf einem Schiffe ungefähr hundert englische Meilen von der Küste entfernt, als ein Matrose sich äußerte, daß er Glockengeläute vernehme, während Arnold selbst, bei angestrengter Aufmerksamkeit, nichts hören konnte; allein er bemerkte alsbald, daß der Wind das Segel an der Seite, wo der Matrose stand, hohl aufgeblasen hatte, und daß sich dieser im Brennpunkte der Krümmung befand. Er stellte sich nun an dieselbe Stelle und konnte das Läuten deutlich vernehmen. In Rio angekommen erfuhr er, daß man dort zu derselben Zeit ein großes Fest gefeiert habe.

Sudre's Telephonium. Sudre benutzte zuerst die Violine als Sprachwerkzeug, indem er verschiedenen Tönen, die er auf ihr hervorbrachte, Bedeutung von Buchstaben gab, und auf diese Art mit seinen Schülern, die in anderen Zimmern sich befanden, eine musikalische Conversation einleitete. Später machte er den Vorschlag auf einer Trompete, welche drei Meilen (wahrscheinlich englische) gehört werden könnte, die Scalentöne: Ut, Re, Mi, Fa, Sol, La, Si in verschiedenen Combinationen hervorzubringen, denen er ebenfalls Buchstabenbedeutung gab. Dieser sein Vorschlag, der, beiläufig gesagt, ein feines, musikalisch gebildetes Gehör voraussetzt, konnte wohl für die Praxis von keiner großen Bedeutung sein, obschon eine Commission, deren Mitglieder Brongniart, Arago und Fournier waren, so wie auch eine Militär- und Marine-Commission sich günstig darüber aussprachen.

Colladon's Telegraph unter Wasser. Colladon meint, daß man unter Wasser mit Hilfe seines hydro-akustischen Hörapparats und wohlgeählter Schallquellen unter der Meeresfläche auf eine Entfernung von einigen hundert tausend Metern (100000 Meter = 316353 Wiener Fuß) sich telegraphisch verständigen könnte. Die bei seinen Versuchen wirklich statthabende Entfernung beider Stationen betrug 35000 Meter = 50740 Wiener Fuß. Der Schall wird im Wasser mit einer Geschwindigkeit von 1435 Meter = 4539,7 Wiener Fuß fortgepflanzt und zwar in der oben bemerkten Entfernung von 35000 Metern deutlich vernehmbar, so zwar, daß man selbst das Nachklingen der Glocke, welche als Schallquelle benutzt wurde, unterscheiden konnte, welches Nachklingen übrigens unter Wasser bedeutend kürzere Zeit anhält als in freier Luft. Als hydro-akustischen Apparat kann man eigentlich jeden festen, theilweise in das Wasser versenkten Körper von größerem Umfang benutzen, wenn man das Ohr an denselben anlegt; den besten Dienst leisten aber hohle, unten verschlossene Gefäße aus dünnem Blech, die theilweise versenkt werden, und welche die ihnen vom Wasser mitgetheilten Schallschwingungen zu unserem Ohre fortpflanzen. Starke Wellenbewegungen durch Sturm haben auf die Schallfortpflanzung in einiger Tiefe keinen bedeutenden Einfluß. Colladon selbst läßt sich nicht weiter ein, auf welche Weise eine solche telegraphische Linie hergestellt werden könnte; er meint, daß für den Fall der wirklichen Ausführung eine Menge künstlicher Combinationen erdacht werden könnten, welche die Mittheilung erleichtern würden.

Ueber optische Signalkunst und Telegraphie. Das Fortpflanzungsmittel für diese Art des Telegraphirens ist das Licht, daher derlei Telegraphen optische oder Gesichtstelegraphen genannt werden, obgleich man sie auch gewöhnlich mit dem Namen „mechanische Telegraphen“ bezeichnet, weil der Zeichenwechsel meistens durch mechanische Vorrichtungen hervorgebracht wird. In der Geschichte der Telegraphie sind eben von dieser Art zu signalisiren und zu telegraphiren, die bestimmtesten Nachrichten vom Alterthume auf uns gekommen.

Im Agamemnon des Aeschylus erfährt Klytemnestra die Eroberung Troja's durch Signalfener, und Aeneas und Julius Africanus beschreiben ein Mittel, bestimmte Befehle, z. B. in Kriegszeiten, auf große Distanzen zu signalisiren. Bei Hannibal, so wie bei den Schotten und Germanen, waren die Signalfener, Alarmfener u. in Anwendung, und Cäsar und Vegetius sprechen selbst von telegraphenartigen Einrichtungen der Gallen.

Diese optische Signalkunst kommt seit lange schon auf Schiffen und in unserem Jahrhundert besonders bei dem Eisenbahnbetrieb in Anwendung. Zur Signalkunst auf Schiffen gehört die sogenannte Fahren- oder Flaggenchrift. Es werden auf den Schiffen Fahnen über einander aufgehängt und zwar von grellen weithin sichtbaren Farben, die von jenem Schiffe aus gesehen werden können, mit welchem man correspondiren will, und bedeutet nun die oberste Flagge z. B. die Einheiten, die zweite Zehner u., so kann man jede beliebige Zahl signalisiren, welche dann andererseits im Signalfuch ihrer Bedeutung wegen nachgeschlagen wird. Zur Nachtzeit muß man sich freilich mit Kanonenschüssen oder Pilsfeuern, Raketen oder Laternen behelfen, welche an einem der Masten in verschiedenen Stellungen ähnlich wie beim Whistspiele die Karten neben und über einander in nebenstehender Weise befestigt werden.

1 2 3 4 5 6

Es ist klar, daß man auch hier gewisse Zeichen voraus bestimmen muß, welche die Aufmerksamkeit erregen, am besten Kanonenschüsse. Man muß ferner anzeigen, ob man eine Zahl des Signalfuches oder eine wirkliche Zahl signalisirt. Es sei z. B., wenn die Frage des Admiralschiffes, wie viel Verwundete am Bord seien, mit „Keiner“ beantwortet werden soll, diese Verneinung im Signalfuche mit der Zahl 21 bezeichnet. Wären nun aber zufällig 21 Verwundete am Bord, so müßte zwar auch die Zahl 21 signalisirt werden, allein es käme noch eine Flagge, z. B. eine wie ein Schachbret quadrirte dazu, wodurch man anzeigt, daß keine Ordnungszahl des Signalfuches, sondern eine benannte Zahl gemeint sei.

Als Mittel für die Eisenbahnsignale giebt es außer der Glocke und schrillenden Dampfpeife, auch telegraphische Vorrichtungen, wie Korbignale, Feuer- und Lichtsignale, und selbst die Bahnwächter sind ambulante Telegraphen. Die Signale richten sich nach den Fällen, die vorkommen können; z. B. langsam fahren und anhalten wird am Tage durch Fahnen neben den Schienen und zwischen den Schienen, bei Nacht durch Lichtsignale an denselben Stellen angezeigt. Eben so giebt es eigenthümliche Signale für die Fälle, wenn sich ein Zug oder eine Locomotive einer Stelle nähert, an welcher die Bahn eine stärkere Krümmung macht. Aus den farbigen Gläsern der Laternen, welche sich an der Locomotive befinden, erkennt man den Vordertheil oder Hintertheil derselben. Alle diese Signale sind

in eigenen Büchern, welche sich in den Händen des Bahnpersonals befinden, zusammengestellt und abgebildet, übrigens beinahe bei jeder Bahn von den bei anderen Bahnen gebräuchlichen ganz verschieden.

Was die optische Telegraphie der Alten betrifft, so beschreibt Polybius ein eigentlich telegraphisches Verfahren, um schnell in die Ferne zu correspondiren. Bei seiner Fackelschrift werden an jeder Station drei Punkte bestimmt: die rechte Seite, die Mitte und die linke Seite. Das Alphabet wird in drei Abtheilungen eingetheilt; eine bis acht Fackeln rechts, bezeichnen die ersten acht Buchstaben des Alphabets; eine bis acht Fackeln in der Mitte, bedeuten die nächstfolgenden acht Buchstaben, und endlich eine eben so große Anzahl von Fackeln links, die noch übrigen Buchstaben des Alphabets. Zugleich sind auf der Station, wo beobachtet wird, horizontale Röhren befestigt, welche gerade auf die drei Punkte gerichtet sind und wobei man zu allem Ueberflusse noch auf einer vierten etwas entfernteren Stelle durch ein, zwei oder drei Feuer anzeigt, ob der Buchstabe rechts, in der Mitte, oder links zu suchen sei. Man sieht, daß dieser Vorschlag, obgleich sinnreich, doch nicht praktisch ist.

Optische Telegraphie vom Jahre 1553 bis 1784. Im Mittelalter gerieth die Telegraphie ganz in Vergessenheit und erst Hieronymus Cardanus giebt in seinem Werke de subtilitate (1553) eine Methode an, um mit einer belagerten Festung eine Fackelcorrespondenz anzuknüpfen, ähnlich der Fackelschrift des Polybius, den er auch später in seinem Werke citirt.

1617 macht Kessler den Vorschlag, in einer Tonne ein Feuer anzuzünden, und es durch ein Bret zu verdecken und wieder sichtbar zu machen, um durch die Anzahl der Verdeckungen, Buchstaben oder Zahlen u. zu telegraphiren. — 1663 spricht Marquis von Worchester von einer Erfindung, um von einem Fenster zum anderen zu telegraphiren, wenn die Entfernung noch nicht so groß sei, daß man Schwarz von Weiß nicht mehr unterscheiden könnte. — 1684 legte Robert Hook der Londoner Societät eine Abhandlung vor, worin er die Erfindung bespricht, durch geometrische, aus an einander gelegten Linealen gebildete Figuren, in die Ferne schreiben zu können. 1763 errichtete Edgeworth in England auf seinem Torfwerke eine telegraphische Linie zum Privatgebrauche. — 1785 trat Vergsträßer in Hanau mit seinen Versuchen auf. Derselbe hat ein ausführliches Werk „Fünf Sendungen über die Synthematographie“ herausgegeben. Zuerst telegraphirte er mittelst Raketen auf eine Entfernung von acht Stunden von Hanau nach Philippsburg. Er bringt auch, besonders für Armeen, akustische Signale, Trommel, Trompeten in Vorschlag, und verbindet optische und akustische Zeichensprache, indem er durch auf einander folgende Raketen mit und ohne Knall telegraphirt. 1795 schrieb er ein Buch, betitelt „Synthematographie (σύστημα, Verabredetes) und Telegraphie in der Vergleichung“, worin er unter andern dem später zu erwähnenden Chappe die Ehre der Erfindung seines telegraphischen Princips streitig macht und den Ruhm derselben dem Engländer Hook zuschreibt. Die Art und Weise, wie er dieses that, und seine anderweitigen Streitigkeiten mit Böckmann, der um dieselbe Zeit mit einer Schrift über Telegraphie auftrat, beweisen, daß er, von kleinlicher Eifersucht nicht frei, auf seinen eigenen Ruf zu bedeutendes Gewicht legte. Vergsträßer hat aber wirklich das Verdienst, über seinen Gegenstand viel gedacht und versucht zu haben, und in der Geschichte der Telegraphie werden seine Schriften immer von Bedeutung bleiben.

Die optische Telegraphie der Neuzeit. Was wir bis jetzt zusammengestellt, sind gewissermaßen nur Vorarbeiten gewesen, welche hier und da Anklang fanden; aber nicht allgemein durchgriffen. Es war der bewegten Zeit der ersten französischen Revolution vorbehalten, dieser Erfindung größere praktische Anwendung zu verschaffen.

1790 faßte Chappe den Entschluß, einen Telegraphen zu errichten und 1792 theilte er die Erfindung dem Convente mit; am 25. Juli 1793 decretirte dieser auf Lacanal's günstigen Bericht, die Ausführung des Vorschlags zur Errichtung einer Telegraphenlinie, bei welcher Chappe als Ingenieur-Telegraph angestellt und ihm die Direction der ganzen Anstalt übergeben wurde. Die Kosten beliefen sich für jede Station auf 6000 Livres, und für den ganzen Weg von Paris bis Lille auf 96,000 Livres. Im August 1794 war die Nachricht der Eroberung von Quebnoy die erste nach Paris telegraphirte Depesche *). —

Chappe's Telegraph hat nun im Wesentlichen folgende Einrichtung. An einer in der Ferne weit sichtbaren Stelle, dem Dache eines dort erbauten Hauses, wird eine hohe starke Stange vertical befestigt; an ihrem oberen Ende dreht sich ein ungefähr 10 Fuß langer und 1 Fuß breiter Wagebalken um eine Axe, so daß dieser Balken mit der erstgenannten festen Stange in der Verticalebene alle möglichen Winkel bilden kann, von denen übrigens nur vier gebraucht werden; entweder stellt man den Balken horizontal oder vertical, oder man läßt ihn oben rechts und unten links, oder umgekehrt oben links und unten rechts, einen Winkel von 45 Graden bilden. Ferner befinden sich an den beiden Endpunkten dieses Balkens zwei kürzere Balken oder Arme, ebenfalls um den einen Endpunkt drehbar, welche daher wieder gegen den Hauptbalken so gestellt werden können, daß sie vier verschiedene Winkel bilden.

Wenn die Maschine arbeitet, so sind die Balken beinahe in immerwährender Bewegung, weil sie von einer Stellung in die andere übergehen und nur in dem Momente, wenn sie diejenige Stellung haben, die man eben wünscht, bleiben sie auf einen Augenblick ruhig, was schon genügt, um vom nächsten Telegraphisten verstanden zu werden. Die Bewegungen geschehen durch Stricke, welche über

*) Claude Chappe und seine fünf Brüder, welche gleichfalls bei den Versuchen über Telegraphie interessiert waren, stammen aus dem Departement Cantal; sie wurden zu Brulon, Departement de la Sarthe geboren, und ihr Vater war ein Bruder des Abbe Chappe d'Auteroche, welcher unter Ludwig XV. in Sibirien den Venusdurchgang beobachtete. Claude Chappe gehörte dem Priesterstande an, und zwei Benefizien setzten ihn in den Stand den Wissenschaften zu leben. Ob er die allgemeine Idee zu telegraphiren von Hool oder von Bergsträsser entlehnt, oder aus sich selbst geschöpft hat, dies nimmt seinem Ruhme nichts; denn die großartige Ausführung und die Ueberwindung aller dabei vorkommenden Schwierigkeiten sind es, welche denselben in der Geschichte der Telegraphie festgestellt haben. Uebrigens hatte Chappe das Schicksal der meisten Erfinder; er wurde anfänglich durch nächtliches Wegnehmen seiner Apparate in seinen Versuchen gehemmt und selbst noch gegen das Ende seiner Laufbahn angefeindet. Linguet soll schon 1782 diese Erfindung gemacht und beabsichtigt haben, sich die Befreiung aus der Bastille, durch Bekanntmachung derselben, zu erkaufen. Chappe soll im Laufe der Zeit zu den Papieren desselben gekommen sein, und nach später erfolgter Verurtheilung Linguet's den Telegraphen ausgeführt haben. Diese Beischuldigung wird ihm ohne Beweise zur Last gelegt, übrigens von Chappe dem Älteren, welcher eine Geschichte der Telegraphie schrieb, entschieden zurückgewiesen.

Rollen laufen und von dem Zimmer aus, über welchem sich der Telegraph befindet, durch Kurbeln dirigirt werden; es steht mit diesen Stricken ein im Zimmer befindlicher kleiner Telegraph in Verbindung, so zwar, daß der Haupttelegraph und das kleine Modell immer gleichzeitig dieselbe Figur zeigen. Der Manipulationsbeamte darf dann nur die Kurbeln so drehen, bis das Modell eine bestimmte Figur zeigt, um gewiß zu sein, daß der Haupttelegraph dasselbe Zeichen in die Ferne sendet. Berücksichtigt man die verschiedenen Stellungen der Seitenbalken gegen einander und gegen den Hauptbalken in seinen eigenen vier verschiedenen Stellungen, so sind 256 von einander unterschiedene Figuren möglich, welche vollaus genügen, um sowohl in Buchstaben oder noch mehr in Zahlen nach telegraphischen Wörterbüchern zu telegraphiren. Wenn die Maschine ruhte, so waren die Nebenflügel eingeschlagen und der Hauptbalken stand horizontal, wodurch der Telegraph die Form T hatte. Der Körper des Balkens war so construirt, daß durch schief stehende, der Länge des Balkens nach, neben einander befindliche Lamellen der Wind durch ihn hindurch wehen konnte, ohne den Telegraphen zu sehr zu erschüttern und die dadurch entstehenden Oeffnungen, von der nächsten Station gesehen, trugen noch dazu bei, um bei trüberem Wetter den Telegraphen noch deutlicher in seinen verschiedenen Lagen zu erkennen.

Chappe's Telegraph kam in einer Beschreibung von Paris nach Frankfurt a. M., wo zwei Modelle erbaut wurden, die durch Herrn W. Plafair an den Herzog von York gesendet, Letzteren veranlaßten, diesen Telegraphen bei der Admiralität einzuführen; bald darauf brachte Gamble in England zwei Systeme und Lord Georg Murray ein drittes System in Vorschlag, welches letztere auch angenommen, bis zum Jahre 1816 in Gebrauch blieb.

Murray's Telegraph besteht aus einem thürartigen Gerüste, welches in sechs, neun oder zwölf Felder eingetheilt ist. Diese Felder können durch eben so große Breter, deren jedes einzelne wie die Latte einer Salouste beweglich ist, geöffnet und verschlossen werden, und aus der Anzahl und Lage der offenen und verschlossenen Felder kann man 63 verschiedene Combinationen erzeugen, wenn man auch nur sechs Felder zur Disposition hat. — Im Jahre 1807 machte Balleh seinen Polygrammatic Telegraph bekannt, so wie 1816 Home Vopham seinen Semaphor. Beide bestehen ebenfalls aus Stangen, welche an einem Ende drehbar, durch die verschiedenen Winkel, welche sie mit der Hauptstange machen, die Zeichen liefern und daher mit dem Chappe'schen Telegraphen in eine Klasse gehören.

Der dänische Telegraph, welcher mit dem in Holland gebräuchlichen große Aehnlichkeit hat, besteht aus einem hohen Mast, an welchem fünf horizontal laufende Querstangen befestigt sind; an jeder derselben sind vier, an der obersten zwei längliche Breter der Art angebracht, daß sie durch ihre eigene Schwere herabhängen, durch Stricke aufgezogen sich beinahe hinter den Querstangen verstecken. Jedes dieser Breter hat die Bedeutung einer Ziffer sammt ihrem Stellenwerthe, und man kann durch Herabhängenlassen der betreffenden Breter sehr schnell große Zahlen telegraphiren, welche im Wörterbuche oder Signalebuche nachgeschlagen und in die gewöhnliche Sprache übersetzt werden. Statt der Breter nimmt man wohl auch viereckige Rahmen, die man mit Segelleinwand überspannt und in welchen man runde Löcher anbringt, damit sie dem Winde keinen so großen Widerstand darbieten, also ruhiger hängen bleiben.

Vermittelt jener Zahlenbreiter kann man nun alle Zahlen von 1 bis 42221 telegraphiren, und der Beobachter hat bloß die Werthe der herabhängenden Klappen aufzuschreiben und zusammen zu addiren. B. B. die Zahl 4681 würde durch folgende Klappen $3000 + 1000 + 500 + 100 + 50 + 30 + 1 = 4681$ telegraphirt werden müssen, welche Klappen in der Figur herabgelassen erscheinen.

Der Scheibentelegraph des Grafen Voß. Dieser Telegraph schließt sich dem englischen Systeme an. Das thürartige Gerüste bildet ein großes Bret ganz ohne Oeffnung; es ist schwarz angestrichen und in neun oder zwölf Felder eingetheilt. Statt der zu öffnenden Klappen befinden sich vorne große weiße Scheiben. Wenn diese die unterste Stelle einnehmen, so sind sie verdeckt; will man telegraphiren, so zieht man mittelst einfacher Schnüre, die oben über Rollen gehen, die Scheiben in die Höhe, bis sie auf das Feld zu stehen kommen, welches man zu der eben darzustellenden Zeichencombination braucht. Mit diesem Telegraphen wurden, wenn ich nicht irre, von dem Erfinder und Herrn Jaks, Custos am physikalisch astronomischen Kabinete in der k. k. Hofburg zu Wien, Versuche angestellt, die ein günstiges Resultat lieferten.

Robinson's Telegraph. Dieser ist ganz allein ein Nachttelegraph und ich nehme seine Beschreibung nur hier auf, weil die Einrichtung wirklich sinnreich genannt zu werden verdient, wenn auch vielleicht die Ausführung Schwierigkeiten haben dürfte. Er wendet dazu sechs oder zehn pyramidenförmig geordnete Laternen an. Zu jeder führen zwei Gasröhren, eine, deren Mündung eine große Flamme liefert, eine zweite, an welcher das Gas nur mit ganz kleiner Flamme brennt. Die Röhren der großen Flamme haben jede an der Stelle, wo sie aus dem Recipienten kommen, einen Hahn. Die kleinen Flammen, in großer Ferne kaum sichtbar, brennen immer fort und dienen dazu, die großen Flammen anzuzünden, sobald man die Hähne öffnet. Diese verlöschen wieder, sobald man die Hähne schließt. Man sieht leicht, daß man durch Combination der großen Flammen eine Zeichensprache einleiten kann. Starke Winde dürften aber leicht die kleine Flamme auslöschten und deshalb dieser Telegraph unpraktisch sein.

Treutler's Tag- und Nachttelegraph. In dem letzten Jahrzehent hat dieser Telegraph die meiste Anwendung gefunden. Seine Einrichtung ist aber wirklich sehr sinnreich und zweckmäßig; er stand zuerst auf der niederschlesisch-märkischen Eisenbahn in Gebrauch und alle Gutachten schienen seine allgemeinere Einführung im höchsten Grade zu begünstigen.

Er gehört, wie überhaupt die in Preußen gebräuchlichen Telegraphen, zu den, von den Engländern abgeänderten Chappé'schen Systemen, welche unter den schon früher erwähnten Namen Polygrammatic Telegraph und Semaphore bekannt sind. Auf dem oberen Ende eines vierundzwanzig Fuß hohen Mastes sind, um eine Axe drehbar, zwei Seitenarme beweglich, deren verschiedene Stellungen die Signale liefern. Der Körper der Arme selbst besteht, wie jener der Chappé'schen Telegraphen, aus jaloustartig eingesetzten Lamellen, durch deren Zwischenarme der Wind durchblasen kann. Diese Lamellen nun sind Spiegel, welche eben unter solchen Winkeln eingesetzt werden müssen, daß sie das Licht von einer Laterne, welche sich der Drehungsaxe gegenüber in der Verlängerung derselben befindet, genau nach jener Richtung reflectiren, nach welcher man telegraphiren will. Da jeder Telegraph nach zwei Seiten hin die Zeichen sichtbar

machen soll, so wechseln die Spiegel, so zwar, daß, wenn an jedem Arme 10 Spiegel sich befinden, fünf davon abwechselnd ihre spiegelnde Fläche nach der einen Seite lehren, während die fünf anderen dieselbe nach der entgegengesetzten Seite wenden. Man kann den Mast länger machen und noch zwei oder vier Arme in einer zweiten oder dritten Etage anbringen, wodurch der Telegraph dem Semaphor ähnlich wird, und wodurch man die Zahl seiner Zeichen vermehrt, um ihn auch zur eigentlichen Correspondenz anwenden zu können. Am Tage sieht man natürlich die Zeichen, wie bei jedem anderen Telegraphen, da die Spiegel und die Laterne nur zur Nachtzeit fungiren.

Wie sich bei jeder wahrhaft nützlichen Erfindung Verbesserungen und Vorschläge häufen, so auch in der Telegraphie. Lecot de Kerveguen z. B. baut eine Hütte, in deren zwei gegenüber liegenden Seitenwänden große freisrunde Löcher ausgeschnitten sind; in diesen drehen sich schwarz angestrichene Scheiben, auf welchen diametral ein weißer breiter Streifen gemalt ist; für die Nacht-Telegraphie ist dieser Streifen herauszunehmen und der Raum desselben zu beleuchten; die verschiedenen Stellungen dieses Streifens geben die Zeichen. Den Chappé'schen Telegraphen hat man für einfache Zwecke nur mit einem Seitenarme versehen; Bürja schlägt für Nachttelegraphie vor, eine weite Röhre zu errichten, die von vorne mit einem ausgeschnittenen Buchstaben verschlossen wird, während am anderen Ende ein Feuer angezündet werden soll, um diesen Buchstaben, der beim Schreiben natürlich immer gewechselt wird, zu erleuchten. Das Drummond'sche Licht, welches man bekanntlich erhält, wenn man entzündetes Knallgas auf einen Kalkcylinder strömen läßt, wurde ebenfalls als weit sichtbares Zeichen zur Telegraphie vorgeschlagen. Kurz man könnte noch unzählige Modificationen anführen, welche alle am Ende auf die schon erwähnten Systeme hinauslaufen.

Würdigung der optischen Telegraphen. Um sich ein Urtheil über den Werth der optischen Telegraphen in den einzelnen Fällen bilden zu können, wollen wir die Bedingungen, welche ein solcher Telegraph erfüllen soll, in Kurzem zusammenfassen. Die Zeichen müssen in der Ferne leicht erkennbar sein, daher sie abgesehen von der Einfachheit auch eine bestimmte Größe haben müssen, welche sich nach der Entfernung richtet, in der sie noch erkannt werden sollen. Für eine und dieselbe Größe des Telegraphen kann diese desto bedeutender sein, je bessere Fernröhre man anwendet; sie findet aber auch bei sehr guten Fernröhren ihre Grenze in der jeweiligen Beschaffenheit der atmosphärischen Luft, welche in sehr großen Distanzen leichter undurchsichtig, und selbst bei heiterem Wetter, wegen der Oscillationen der Wärme, zur deutlichen Fortpflanzung der Lichtstrahlen weniger tauglich ist. Bei der Telegraphenlinie von Paris nach Lille, an 60 Stunden Entfernung, belief sich die Zahl der Stationen, nach dem Kostenanschlag zu urtheilen, auf sechzehn, daher im Durchschnitte je zwei Stationen etwas über drei Stunden von einander entfernt waren, welche Distanz in der Regel nicht viel überschritten werden darf. Es macht ferner bei Anlegung von Telegraphenlinien bedeutende Schwierigkeiten, die zweckmäßigsten Stationspunkte auszumitteln; diese müssen so gewählt werden, daß sie wo möglich freien Himmel im Hintergrunde haben, damit sich die Contouren der Zeichen scharf abgrenzen. Dieses ist wünschenswerth bei allen Telegraphen mit Armen und Klappen. Der Schreibentelegraph des Grafen Voß, der Tag- und Nachtsenaphor von Lecot de Kerveguen und Telegraphen, welche mit buntbemalten Scheiben telegraphiren

und die wohl auch in Vorschlag gebracht wurden, können auch auf Plätzen stehen, welche einen weniger gleichförmigen Hintergrund haben. Die Stationen sollen in einer nicht bedeutend gekrümmten Linie liegen, damit jede derselben von ihren beiden Nachbarstationen en face gesehen werde. Kleine Abweichungen schaden wohl nicht; ist der Telegraph aber drehbar, wie es leicht beim dänischen Telegraphen ausgeführt werden kann, so fällt diese Bedingung ganz weg. Beim Treutler'schen Tag- und Nachtlegraphen, wo es sich um das Sichtbarsein durch reflectirte Strahlen handelt, ist es aber eine unerläßliche Bedingung, daß je zwei Telegraphen einander gerade gegenüber stehen, daher auch bei Bahnkrümmungen an den Orten der Krümmungen zwei Telegraphen der Art aufgestellt werden, daß der eine nach der einen, der andere nach der anderen Richtung signalisirt. Das Personal muß vollkommen eingeübt, äußerst aufmerksam sein und den Mechanismus des Zeichenwechsels ganz in seiner Gewalt haben, was um so eher möglich wird, je einfacher dieser ausgeführt ist. Wenn alle diese Bedingungen erfüllt sind, so grenzt die Geschwindigkeit, mit welcher eine Nachricht mitgetheilt werden kann, beinahe an Unglaubliche.

Von Lille	nach Paris	60 Stunden,	gelangt eine Nachricht	2 Minut.	—	Sec.
• Calais	•	• 68	•	•	• 4	• 5
• Straßburg	•	• 120	•	•	• 5	• 52
• Bicet	•	• 150	•	•	• 6	• 50
• Toulon	•	• 205	•	•	• 13	• 5

Die meisten früher im Detail angeführten Telegraphen haben die Feuerprobe der praktischen Ausführung überstanden und sie ließen gewiß nichts zu wünschen übrig, wenn nicht trübe Tage und Nächte sie oft ganz unthätig machten, abgesehen von dem bedeutenden Personale, welches sie zu ihrer Bedienung erfordern und das immer auf der Wache sein muß, um eine telegraphirte Depesche alsogleich wahrzunehmen und weiter zu signalisiren.

Ueber die pneumatische und hydrostatische Telegraphie. Im ersten Falle dient als Fortpflanzungsmittel die Bewegung der Luft in geschlossenen Röhren. Sind einmal solche Röhren da, so ist es klar, daß es am zweckmäßigsten wäre, sie als Communicationsröhren zu akustischen Telegraphen zu benutzen; jede weitere Einrichtung ist hier gewissermaßen ein Umweg, um dasselbe Ziel zu erreichen. Rowley, bei der königl. großbritannischen Marine angestellt, läßt fünf bis sechs Röhren von einer Station zur anderen gehen, jede steht einerseits mit einer Luftpumpe oder einem Gasometer in Verbindung, andererseits mündet die nach abwärts gebogene Röhre in eine mit Wasser gefüllte Flasche. Dort, wo signalisirt wird, sind alle Röhren mit Hähnen verschlossen; man öffnet nun irgend einen, drückt den Gasometer, der natürlich nur mit atmosphärischer Luft gefüllt ist, herab, oder setzt die Compressionspumpe in Bewegung und die dadurch in der Röhre zusammengedrückte und nach vorwärts geschobene Luft sprudelt an der anderen Station durch das Wasser. Je nachdem nun dieses Sprudeln nach Willkür in einer oder der anderen Flasche stattfindet, ist die Möglichkeit zur Zeichencombination gegeben. Man kann jede Röhre durch doppelte Ausläufe an beiden Enden zum Telegraphiren hin und her einrichten, wo aber noch zwei Signalaröhren nöthig werden, um anzuzeigen, daß man telegraphiren will, worauf die Hähne an beiden Stationen so gestellt werden müssen, wie es die Richtung, nach

welcher signalisirt werden soll, erheischt. — Physikalisch interessant ist die Behauptung Rowley's, daß die an einem Ende in die Röhre gepresste Luft die ganze Luftsäule dergestalt in Bewegung setzt, daß in fünf Secunden eine englische Meile durchlaufen wird.

Grosley führt nur eine Röhrenleitung von einem Stationsplatz zum anderen, beschwert einerseits den Gasometer mit verschiedenen Gewichten, deren verschiedener Druck durch einen Manometer am anderen Ende angezeigt, ja selbst registriert werden kann. Für Signale befindet sich eine pneumatische Vorrichtung an den Eisenbahnstationen zu Edinburgh, Liverpool und Euston-Square, wo man in Röhren von $1\frac{1}{4}$ bis zwei englische Meilen Länge hineinbläst, wodurch am anderen Ende ein Pfeifen ansprechen soll. (?)

Der hydrostatische Telegraph besteht aus einer Röhre, welche an jeder Station unterbrochen ist. Die dadurch an diesen Punkten entstehenden zwei offenen Enden sind mit zwei Kolben verschlossen, welche rechts und links in die Röhre etwas tiefer hineinrücken, um einen Spielraum zu haben; auch sind sie mit einander durch eine Stange fest verbunden. Ist die Röhre ganz mit Wasser gefüllt und auch wasserdicht (!), so werden, wenn man das Kolbenpaar an einer Station nach rechts bewegt, durch den Druck des Wassers sämtliche Kolben an allen Stationen nach rechts rücken und umgekehrt. Stehen die Enden, wo die Röhre unterbrochen ist, weiter aus einander und ist der erwähnte Spielraum der Kolben ziemlich groß, so kann man die verschiedenen Kolbenstellungen durch einen Zeiger markiren und somit dasselbe Signal an allen Stationen in nahe gleicher Zeit signalisiren (?). Diese Beschreibung wird genügen sich darüber ein Urtheil zu bilden. Auch das Steigen und Sinken des Wassers in communicirenden Röhren hat Wallace als telegraphisches Mittel vorgeschlagen.

Ueber elektrische Telegraphie.

Auch bei dieser Erfindung sehen wir, wie unaufhaltsam die Wissenschaft vorwärts schreitet, wie sie keine Hindernisse scheut, sich um keine Vorurtheile kümmert, sondern bloß das, was sie als möglich anerkennt, auch wirklich durchzuführen sucht. Was in dieser Beziehung in einem bestimmten Zeitabschnitte für unwahrscheinlich gehalten wird, ist oft in wenig Jahren ein abgeschlossener Gegenstand. So fällt Steenstrup über die elektrische Telegraphie, bei Gelegenheit eines geschichtlichen Ueberblickes, folgendes Urtheil: „Mit vielen von diesen Vorschlägen steht es ziemlich windig aus, z. B. mit der zum telegraphischen Gebrauche vorgeschlagenen Elektricität, wovon insonderheit Böckmann Vieles gesagt.“

Franklin soll der erste gewesen sein, welcher die Anwendung der Elektricität zur Mittheilung von Nachrichten vorschlug. Er hat aber diesen Vorschlag selbst nicht weiter verfolgt. Im Jahre 1746 hat Winkler zu Leipzig mittelst der Elektricität telegraphirt. 1774 finden wir eine vollständigere Beschreibung eines elektrischen Telegraphen in einem kurzen Berichte des Genfer Gelehrten Lesage. 1787 trat Lamond mit einem ähnlichen Vorschlag öffentlich auf. Ferner beschäftigten sich 1794 Meißner, 1798 Salva, 1808 Sömering, 1816 Coxe mit der Construction von elektrischen Telegraphen. Bei einer Vorlesung an der Royal Institution im Februar 1830 referirte Ritchie über einen

nach Ampere's Plane ausgeführten elektro-telegraphischen Apparat. Um die Jahre 1835 bis 1837 wurde dieser Gegenstand von den Gelehrten noch energischer aufgegriffen und die Bemühungen eines Steinheil, Gauß, Weber, Schilling von Cannstadt, waren von so günstigem Erfolge begleitet, daß bald fast überall Proben mit elektrischen Telegraphen angestellt wurden. Auch in Wien hat bei Baron Jaquin Schilling von Cannstadt mit Professor Ettinghausen diese Versuche wiederholt, und dieser Zweig der Elektrizitätslehre wurde nach und nach in England und Nordamerika, Rußland und Frankreich, durch Anwendung im Großen seiner jetzigen Vollendung nahe gebracht, welche der noch vorhandenen Schwierigkeiten ungeachtet der elektrischen Telegraphie den Vorrang vor allen anderen telegraphischen Systemen sichert. In die Jahre 1838 bis 1858 fallen die Erfindungen und Verbesserungen eines Wheatstone, Cooke, Bain, Jacobi, Morse, Gintl und Anderer, die wir, so wie die früher angeführten in ihren Details näher kennen lernen werden.

Bei der elektrischen Telegraphie handelt es sich zunächst um eine Elektrizitätsquelle, das ist, um einen Apparat, mittelst dessen man einen elektrischen Strom in jedem Augenblicke erzeugen kann. Da nun ein solcher Strom unter gewissen Umständen einen metallenen Leiter eine lange Strecke hindurch gewissermaßen mit Gedankenschnelligkeit zu durchlaufen vermag, so ist das zweite Erforderniß eines elektrischen Telegraphen eine Drahtleitung von einer Station zur anderen, aus einem zu diesem Zweck tauglichen Metalle. Wenn die Elektrizität nun diesen Draht durchläuft, müssen auch Mittel angewendet werden, um diesen Umstand den Sinnen wahrnehmbar zu machen. Das dritte Erforderniß des elektrischen Telegraphen ist also ein sogenannter Zeichenapparat.

Zu der in Rede stehenden Anwendung der Elektrizität kann man diese letztere entweder durch Reibung oder durch galvanische oder auch durch magneto-elektrische Apparate erzeugen. Bei den Vorschlägen der älteren Zeit hatte man natürlich nur die Reibungs-Elektrizität, das ist, die mittelst einer Elektrirmaschine erzeugte Elektrizität im Auge, da der Galvanismus erst im Jahre 1790 entdeckt wurde, daher die Erforschung der Gesetze desselben erst in spätere Jahre fiel; allein auch in neuester Zeit wurde die Reibungselektrizität wieder, sowohl in Oesterreich als auch in England empfohlen und die auf der Gloggnitzer Bahn von Winter angestellten Versuche gaben günstige Resultate.

Von den gewöhnlich in Anwendung kommenden galvanischen Apparaten, kann man, nach Maßgabe der Stromstärke, die man nöthig findet, um auf eine gewisse Strecke zu signalisiren, die Daniell'schen, Smee'schen, Grove'schen und Bunsen'schen Elemente benutzen (s. d. Art. Säule, galvanische). Von der Natur, Dicke und Länge des Batterie-Schließungsdrahtes, also des Leitungsdrahtes von einer telegraphischen Station zur anderen hängt die Zahl der Elemente ab, die nöthig ist, um einen bestimmten Erfolg zu erzielen. Smee construirt seine Elemente, die man häufig anwendet, aus gut amalgamirtem Zinkblech und einer dünnen Silberplatte, auch wohl Bleiplatte, welche er mit Platinmoir überzieht. Beide Platten werden in verdünnte Schwefelsäure getaucht und geben eine so constante Wirkung, daß diese Batterie selbst zur Galvanoplastik, bei welcher man einen sehr gleichmäßigen Strom braucht, allgemein angewendet wird.

Die Anordnung und Verbindung der einzelnen Elemente zu einer galvanischen Batterie ist in der gewöhnlichen Art hergestellt, nämlich so, daß jede Silber-

platte mit der Zinkplatte des nächsten Elementes durch kurze Drahtstücke in metallischem Contacte steht; dadurch bleibt zu Anfang eine Zinkplatte, zuletzt eine Silberplatte unverbunden. Die an diese zwei Platten angebrachten längeren Verbindungsdrähte sind die Polardrähte der Batterie und stehen durch das Tasfbret in Communication mit den Zuleitungsdrähten der Apparate.

Magnetoelectricität. Außer der Reibungselectricität und der auf galvanischem Wege erzeugten Electricität bleibt als Electricitätsquelle noch die Magnetoelectricität (s. Art. Induction, elektrische und Magnetoelectricität).

Magneto-electrische Apparate verfertigt seit lange Stöhrer in Leipzig von ausgezeichneter Güte und Schönheit. In wissenschaftlicher Beziehung lassen seine Apparate nichts zu wünschen übrig, und auch in Bezug auf die Anwendbarkeit als Stromquelle für die elektrische Telegraphie spricht sich das Experiment im Kleinen sehr günstig aus; nur glaube ich bemerken zu müssen, daß die Natur der Sache selbst, der Praxis im Großen Hindernisse in den Weg legt, die schwierig zu überwinden sind. Du Jardin hat vor längerer Zeit der franz. Akademie der Wissenschaften die Beschreibung einer magnetischen Batterie übergeben; er sagt: „Diese Batterie besteht aus drei Hufeisenmagneten, wovon ein jeder aus sieben Blättern zusammengesetzt ist, ferner aus sechs Spulen, welche an den Enden der Schenkel der Magnete angebracht sind; um dieselben ist ein Kupferdraht von 7700 Meter (über 23100 Fuß) Länge gewunden, welcher 23 Kilogramme (46 Pfund circa) wiegt. Die Wirkungen dieser Maschine sollen außerordentlich sein, was ihr riesiger Bau wohl voraussehen läßt.“ Er empfiehlt sie für telegraphische Zwecke.

Die metallische Leitung von einer Station zur anderen. Dieselbe soll die an einer Station erregte Electricität mit so wenig Verlust als möglich hin- und zurückleiten. Damit diese Forderung erfüllt werde, muß die Leitung mit solchen Körpern umgeben sein, welche die Electricität nicht merklich weiter zu leiten im Stande sind, oder der Draht muß, wie man zu sagen pflegt, isolirt sein. Nun kann natürlich ein Draht nur auf zweifache Art von einem Ort zum anderen geführt werden, entweder hoch durch die Luft oder unter der Erde, der dritte Fall längs der Oberfläche der Erde würde die Unzulänglichkeiten beider genannten Methoden vereinen, ist also unpraktisch, muß aber deswegen erwähnt werden, weil man die Schienen der Eisenbahnen als Leitung vorgeschlagen hat. Wenn dieser Vorschlag von vorneherein auch sehr plausibel erscheint, so ist er doch nicht ausführbar, weil die Enden der Schienen in vollkommen metallische Verbindung gebracht werden müssen, was zwar möglich ist, aber bei so vielfachen Verbindungsstellen sehr schwierig sein dürfte. Dieser Uebelstand, wenn man auch keinen anderen Einwurf machen könnte, genügt von der praktischen Seite allein, die genannte Einrichtung zu verwerfen. Die augenfällig schlechte Isolirung, die in allen Fällen zu zahllosen Unzulänglichkeiten führen dürfte, bedarf als Hauptgrund in wissenschaftlicher Beziehung weiter keiner Erwähnung.

Oberrirdische Leitung. Hoch durch die Luft gespannte Drähte lassen sich leichter, wenn auch nicht ganz vollkommen isoliren, allein sie sind den atmosphärischen Einflüssen und böswilliger Beschädigung bloßgegeben. Die Herstellung der Pfähle, auf denen sie fortgeführt werden, ist zwar nicht mit so bedeutenden Kosten verbunden, die Drähte können gegen die Beschädigung, besonders längs der Eisenbahnen überwacht werden, und findet eine solche wirklich statt, so

ist sie leicht aufgefunden und wieder ausgebessert. Allein den atmosphärischen Einfluß kann man nicht so leicht beseitigen; es ist hier nicht der chemische gemeint, welcher die Drähte, besonders wenn sie Eisen sind, mit der Zeit zerstören könnte, denn dagegen kann man sie verwahren, sondern Stürme, hängenbleibendes Eis, Zugvögel und Gewitter führen diese Unzulänglichkeiten herbei. Stürme können die Drähte zerreißen, besonders wenn diese im Winter durch Schnee und Eiszapfen belastet sind. Gewitter, welche in der Nähe der Leitung vorbeiziehen, können auf verschiedene Weise eine Beschädigung der Apparate herbeiführen.

Was Steinheil schon lange (1837) in Deutschland ausgeführt, fand in England erst im Jahre 1843 Eingang, wo Cook, nach einem Bericht im *Mechanics Magazin*, eine 10 Meilen lange Drahtleitung an der Great-Western Eisenbahn durch die Luft führte. Er ramnte von 1500 zu 1500 Fuß 16 bis 18 Fuß hohe gezimmerte Pfosten in die Erde, welche nach oben zu verjüngt und mit einer kleinen Spannwinde versehen sind, so zwar, daß man mit Hülfe derselben durch Umdrehung der Sperr-Radare die Drähte beliebig spannen kann. Zwischen den Hauptpfosten befanden sich von 180 zu 180 Fuß schwächere Träger, über welche der Draht bloß durch metallene Gabeln lief, von denen er aber durch eine Unterlage gehörig isolirt war. Die Drähte wurden durch Anstreichen mit Asphaltfirniß und an den Pfosten durch übergestürzte Holzkästen gegen Witterungseinflüsse geschützt. Bei größeren Leitungen schlug Cook schon damals Drahtstränge vor, welche aus Eisendraht zusammengewunden sind und einen Kern aus Kupferdraht haben, wodurch bei geringerem Gewichte der Leitungswiderstand vermindert wird. Die Ständer können auch, wie gegenwärtig in Wien, aus Gußeisen angefertigt sein, wo dann zur Isolirung am oberen Ende befestigte Stützen oder Hüthen aus Glas oder Porzellan angewendet werden. Hölzerne, mit einer conservirenden Salzlösung, z. B. Kupfervitriol imprägnirte Ständer wurden ebenfalls empfohlen.

Spätere Vorschläge und Verbesserungen beziehen sich, um das Geschichtliche nicht zu übergehen, auf die Art der Isolirung, der Spannung, der Befestigung der Drähte und auf den Schutz der Drähte, besonders der Auflagestellen gegen atmosphärische Einflüsse. Entweder werden die Drähte dort, wo sie aufliegen, wie oben erwähnt, durch Unterlagen von Glas oder Porzellan isolirt, oder sie laufen durch ein rundes Loch in den Tragepfosten, in welches sie durch einen Sägeschnitt eingelegt und mit einem runden Reile befestigt werden können. Die Spannung der Drähte wird entweder, wie schon erwähnt, durch Spannwinden oder (wiewohl unpraktisch) durch Gewichte bewerkstelligt, oder sie werden, wie in neuester Zeit, um den eingeschnürten nach unten trichterförmig sich erweiternden Glaskopf (Hüthen) herumgewunden und so befestigt. Ist dieses Hüthen nicht von Glas oder Porzellan, sondern von Metall, so erhält der Draht eine sehr gut isolirende Unterlage, bevor er herumgewunden wird. Da die Drähte durch ziemlich lange Strecken frei hängen, so ist es begreiflich, daß sie sich dehnen; aber die Erfahrung hat gezeigt, daß dieses Dehnen in einem bedeutenderen Grade stattfindet, als man es bei der gewöhnlichen Dike erwarten konnte. Man meint, daß der Draht, wenn er übersponnen und vielleicht gestirnt würde, der bedeutenden Zugkraft mehr widerstehen könne, was wohl wahrscheinlich ist. Ob aber der Widerstand gegen die Dehnung dadurch so bedeutend vermehrt wird, daß er die Kosten des Ueberspinnens, bezüglich des Erfolges, verschwinden macht, ist

eine andere Frage. Was den Schutz gegen atmosphärische Einflüsse anbelangt, so ist ein Ueberziehen der Drähte der ganzen Länge nach mit Jeffery's Marzineleim öfters vorgeschlagen. Auch Gutta-Percha in Schwefelkohlenstoff gelöst wurde empfohlen.

Unterirdische Leitung. Jacobi, dem wir schätzenswerthe Versuche über elektrische Telegraphie verdanken, erkennt zwar die großen Vortheile der in der Luft aufgehängten Leitungsdrähte an, nennt aber diese Methode nur einen Nothbehelf. Er scheint anfänglich durch Localverhältnisse durchaus verhindert gewesen zu sein, die Drähte in der Luft auszuspannen und hat mit der Bemerkung vollkommen recht, daß die Ueberwachung nur längs der Eisenbahnen möglich sei, und daß man an gewöhnlichen Landstraßen oder durch unbesuchte Gegenden keine solche Leitung anlegen könnte. Wir werden nur die wichtigsten Vorschläge näher aufzählen.

In England hat Wheatstone mehrere Methoden vorgeschlagen, um die Leitungsdrähte weiter fortzuführen, die alle, mit Ausnahme einer einzigen, den Anschein haben, daß der Vorschlag die Prüfung der Praxis nicht aushalten dürfte. Er meint, man könne sie in Kanäle legen, die in einem viereckigen Balken an der oberen Fläche angebracht seien; damit sie nicht frei liegen, wird eine dreieckige dachförmige Latte darüber fest gemacht. Diese Methode soll dazu dienen, um die Drähte längs der Oberfläche der Erde fortzuführen. Um die Drähte aber unter der Erde zu versenken, giebt er den Balken eine Trapezform und bringt oben einen und rechts und links zwei Kanäle an, die mit Latten verkeilt werden, eine Methode, deren Unzulässigkeit wegen des leichten Eindringens des Wassers auf der Hand liegt, abgesehen von der un Zweckmäßigen Anwendung des Holzes überhaupt. Ferner meint er, man könnte sie bloß auf einen Balken neben oder auf einander hinlegen und durch einen darüber befestigten Halbcylinder aus Gußeisen schützen. Die beste von ihm vorgeschlagene Art dürfte die Fortführung in gußeisernen Röhren sein, allein die Isolirung ist immer schwierig, wenn auch, wie es sich von selbst versteht, die Drähte mit Berg oder Baumwolle übersponnen und mit Wachs, Theer, Asphalt oder irgend einem Firnisse, der nicht leicht abspringt, überzogen werden. Wheatstone brauchte zu seinen Telegraphen fünf Leitungsdrähte, von denen je zwei bei einem Signale in Thätigkeit waren.

Da durch Metallröhren die Möglichkeit der Nebenleitungen vermehrt wird, so bestimmte dies Jacobi Röhren aus Glas anzuwenden, und zwar nahm er 5 Fuß lange und $\frac{3}{4}$ Zoll weite Röhren von angemessener Stärke, ihre Enden waren matt abgeschliffen und mit Kautschukröhren verbunden; sie wurden anfänglich in ausgehöhlte Ziegel, später in feinen Sand gebettet und lagen 21 Zoll unter der Oberfläche. Zur Probe wurde ein Amboss auf eine Stelle, unter welcher die Röhrenleitung sich befand, gestellt und mit 80 Pfund schweren Hämmern ein Stück Eisen ausgeschmiedet. Obgleich die Erschütterungen, wie es sich denken läßt, bedeutend waren, so blieb die Röhre doch unverletzt. Die Drähte waren mit Zwirn umspinnen und dann in eine heiße Mischung von Wachs, Harz und Talg getaucht, hierauf wieder umspinnen und neuerdings mit dieser Mischung bestrichen. Diese Leitung, welche von Zarskoe-Selo nach Petersburg geht, in einer Distanz von $3\frac{1}{2}$ Meilen, hat damals nach 3jährigem Gebrauche noch immer ihre Dienste gethan, wobei es aber nöthig wurde, die Elektrizitätsquelle mehr und mehr zu verstärken. Besonders gut haben sich die Kautschukverbindungen gehalten

und ein Versuch im Kleinen schien dieses Material als gutes Isolierungsmittel zu empfehlen. Der Kautschuk wurde in Streifen zerschnitten und der Draht damit spiralförmig bewickelt und zwar in doppelter, oder nach Umständen, in dreifacher Lage. Der gegläubte, nicht gepugte Draht wird am besten mit einer Kautschuklösung in Kautschukin überstrichen und mit den Streifen umwickelt, die ebenfalls durch eine Kautschukauflösung unter einander verbunden werden. Vulkanisirter Kautschuk oder vulkanisirte Gutta-Percha soll neueren Erfahrungen zufolge Kupferdraht brüchig machen. Nähere Details kann man im polytechnischen Centralblatt 1848 S. 710 finden, so wie über die secundären Ströme der unterirdischen Leitungen im Bull. d. b. cl. phys. math. d. St. Petersburg. Tome VI. No. 1.

Braun, welcher meint, daß die gußeisernen Röhren Wheatstone's, die gläsernen Jacobi's und gebohrte marmorne Röhren zu theuer wären, schlägt vor, die Röhren aus gebranntem glastirten Thon zu machen mit eingesehten Stegen, worauf die Drähte ruhen. Eben so stellt er in Frage, ob man vierseitige Kanäle aus Holz, welche nach der Methode von Schulz zubereitet wären und welche also der Fäulniß widerständen, nicht vorzugsweise anwenden sollte.

Am zweckmäßigsten dürfte wohl der in Frankreich an einzelnen Stellen praktisch ausgeführte Vorschlag sein, die Drähte in Gräben zu legen und diese mit geschmolzenem Asphalt auszugießen. Unter gehöriger Voracht der Ausführung dieser Operation entsteht ein solider immer härter werdender Asphaltblock, der die Leitungsdrähte isolirend umschließt.

Jacobi, der den Nebenströmen bei schlecht isolirten unterirdischen Leitungen viele Aufmerksamkeit widmete, veröffentlicht im Bulletin Physico-mathematique, Bd. VII. S. 30 einen glücklichen Versuch, wo er durch Einschaltung von zwei breiten Platin-Elektroden zwischen der Leitung und der Spule des Elektromagnets die Nebenströme paralyisirte; die Platinplatten waren in ein Gefäß mit verdünnter Schwefelsäure eingetaucht.

Alle Vorschläge, welche man bereits gemacht hat oder machen wird und deren sich in den Journalen, namentlich im polytechnischen Journale unzählige finden, lassen sich von vorne herein nicht vollständig beurtheilen; immer wird man mit längeren Strecken Versuche machen müssen, um über den Werth oder Unwerth einer auf diesen Gegenstand Bezug habenden Erfindung oder Verbesserung ins Reine zu kommen. Alle Gelehrten sehen die Wichtigkeit der Isolirung ein, sie kennen die Uebelstände, welche die Nebenleitungen mit sich bringen, sie sind durch oft wiederholte Versuche bemüht, die Größe des Verlustes an elektrischer Kraft nachzuweisen, indem sie an verschiedenen Stellen Meßapparate (Voltameter etc.) einschalten, und geben durch eben diese Bestrebungen zu erkennen, daß dieser Gegenstand wichtig und schwierig zu erforschen sei.

Einer der bedeutendsten Uebelstände der unterirdischen Leitung ist die Schwierigkeit, mit welcher eine Bruchstelle aufgefunden werden kann, um sie auszubessern. Es müssen also bei solchen Röhrenleitungen von Stelle zu Stelle Nebendrähte aus der Leitung herausgehen, an welchen man durch eingeschaltete Multiplikatoren oder Voltameter wenigstens annähernd die Stelle finden kann, wo der Strom unterbrochen ist, oder wegen schlechter Isolirung, eindringender Feuchtigkeit etc. abgeleitet wird. Steinheil hat ein eigenes Zersekungsfläschchen construirt, um damit die unterbrochene Isolirung und Ableitung des Stromes aufzufinden.

Henry Mapple nahm im October 1846 ein Patent auf die Verbesserung von elektrischen Telegraphen, dessen erster Theil die Leitung betrifft. Derselbe umspinnt die Drähte mit Baumwollgarn, überzieht sie mit geeigneten geschmolzenen Materialien (Talg und Harz?), um sie zu isoliren. Er nimmt eine lange Bleiröhre, deren Durchmesser gerade weit genug ist, um die vorbereiteten Drähte einführen zu können. Sind die Röhren sehr lang, so schneidet er in Entfernungen von 20 Fuß Längenschlitze in die Röhre, befestigt die Drähte an eine über 20 Fuß lange Nadel und zieht sie so von Schlitze zu Schlitze durch die Röhre. Wenn der Draht einmal in der Röhre liegt, so wird der Zwischenraum mit einer erhitzten Mischung von Theer und Bech ausgefüllt, die durch Einlegen der Bleiröhre in ein Gefäß mit Wasser flüssig erhalten wird, worauf man die Röhren, deren Längenschlitze man zusammengeklopft hat, durch ein Walzenwerk aus 3 Walzenpaaren gehen läßt, welches die Röhren auf einen geringeren Durchmesser zusammenpreßt und sie verlängert, daher ursprünglich die Drähte länger als die Röhren genommen werden müssen. Dieses Zusammenpressen bewirkt, daß die Drähte hermetisch umhüllt sind, nachdem man die Längenschlitze auch noch verlöthet hat. Der Patentträger rath ferner, die Bleiröhren mit Bindfaden (Kokosstricken) zu umwickeln, mit heißem Bech zu überziehen und Sand darauf fest zu drücken, wornach die so geschützten Drähte in einer Röhre von Gußeisen eingelegt werden sollen. Die Ausführung ist bereits versucht worden, scheint aber den Erwartungen, besonders wenn man auf die Herstellungskosten Rücksicht nimmt, keineswegs zu entsprechen. Bloß in Gutta-Percha unterirdisch eingelegte Leitungsdrähte halten sich nach späteren Erfahrungen schlecht; die Gutta-Percha wird durch die Feuchtigkeit und andere Einflüsse in der Textur verändert, wohl auch von Mäusen oder Ratten angefrissen.

Ueber das Material der Leitungsdrähte. In Bezug auf die Leitungsfähigkeit der Metalle in Vergleich mit dem Anschaffungspreise bleibt uns nur die Wahl zwischen Eisen und Kupfer. Eisen leitet ungefähr sechs bis sieben Mal schlechter als Kupfer; man muß daher den Querschnitt des Eisendrahtes an und für sich oder durch Zusammendrehen von einzelnen Drähten 5 bis 6 Mal größer machen, d. h. in demselben Verhältnisse mehr Eisen nehmen. Da sich die Preise der von beiden Metallen zu verbrauchenden Quantitäten unter dieser Voraussetzung nahe gleichstellen, so ist es in finanzieller Beziehung fast einerlei, welches man wählt. Man pflegt aber gewöhnlich dem Kupfer den Vorzug zu geben, weil es sich nicht nach innen oxydirt, wogegen übrigens auch das Eisen, nach einer Erfahrung Steinheil's, schon dadurch, daß es als Leitungsdraht für einen elektrischen Strom gebraucht wird, geschützt ist.

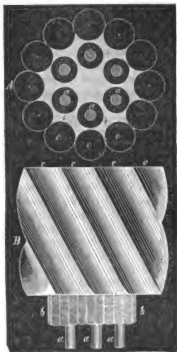
Eben so wie Kupferdrähte hat man auch vorgeschlagen, Eisendrahte mit verzinkter Oberfläche zu verwenden, was sich als praktisch erwiesen hat und es hat Bettenkofer eine Methode angegeben, die Güte der Verzinkung auf einfache Weise zu prüfen.

In Batern wurden nämlich jüngst verzinkte Eisendrahte eingeführt, und Bettenkofer tauchte zur Prüfung ein Stück in Kupfervitriollösung (1 Theil Kupfervitriol, 12 Th. Wasser); Zeit der Eintauchung jedesmal 10 Secunden. Das Zink wird nach und nach in schwarzes Pulver verwandelt, das man jedesmal mit Filterpapier abwischt, bis der Draht nicht mehr schwarz, sondern roth wird, wo dann das Eisen bloß liegt. Die Anzahl der nöthigen Eintauchungen giebt

das Maß für die Stärke der Verzinkung. 16 Eintauchungen entsprechen einer Verzinkung von 16,26 Gramm per Quadratzuß.

Unterseeische Leitung. Zum näheren Verständniß müssen wir auch hier die Frage stellen, welche Eigenschaften eine unterseeische Telegraphenleitung haben müsse, um den an sie gemachten Anforderungen zu entsprechen? Diese sind: Vollständige Isolirung, hinlängliche Festigkeit, um sowohl dem eigenen Gewichte, als auch dem Wellenschlage, dem Gerölle, dem Anprallen an Felsen oder Steinwände und der Beschädigung durch Schiffe zu widerstehen. Die vollständige Isolirung findet durch Gutta-Percha-Ueberzüge statt, in welche man sie gewöhnlich doppelt einhüllt und die man in neuerer Zeit nicht schwefelt, weil der Schwefel mit dem Kupfer eine Verbindung eingeht, die das Kupfer brüchig macht. Neben den Gutta-Percha-Ueberzug spinnt man eine Art Hanfhülle, die mit Theer getränkt ist und welche durch ihre Elasticität und Weichheit die Gutta-Percha-Hülle vor dem Zerquetschen und Zerdrücken schützen soll, wenn das Seil später mit Eisendraht umspinnen wird, der den eigentlichen Schutz nach Außen gewährt. Dieser Eisenschutz kann auf zweierlei Art gefertigt werden, entweder aus Drahtlügen,

die selbst schon Eisendrahtseile sind, indem sie aus dünnem Eisendraht zusammengewunden wurden, oder aus dicht an einander liegenden spiralförmigen Windungen von ziemlich dickem fast stäbchenartigem Eisendraht. Wir geben in nebenstehender Zeichnung ein Stück eines solchen Telegraphenseils, aus welcher leicht die genaue Construction, so wie die räumlichen Verhältnisse ersehen werden können. Es ist A ein Durchschnitt des Taues, B ein Längenstück, a a sind Kupferdrähte, die mit einer Gutta-Percha-Hülle überzogen sind, b b eine Hanfhülle aus getheertem Hanf oder auch einem Gemenge von anderen Substanzen, welche um den Leitungsdraht eine fast wasserdichte Kruste bilden, c c Eisendrähte, die in unserer Zeichnung compact sind, bei Eigenseilen aber wieder aus 6 bis 7fach gewundenen dünneren Eisendrähften bestehen.



Telegraphenseile mit einer Eiseneinhüllung aus Drahtlügen kommen wohl theurer als Seile mit dicker Eisendraht-hülle; sie haben aber den Vortheil, daß ein dünner Eisendraht, wenn er auch an einer Stelle reißt, sich vom Seile nicht los trennen kann, weil er mit den übrigen

Drahften verflochten ist. Bei der Drahthülle aus stäbchenartigem Eisendraht hat das Brechen eines Drahtes nicht nur das Lostrennen des zerbrochenen Drahtes auf eine große Länge des Seiles zur Folge, sondern es werden auch die übrigen Drahften

schlotternd und die Festigkeit des Seiles ist dadurch in bedeutendem Maße gefährdet. Man wendet daher für Flüsse die Drahtlinsenleile, für Meeresstrecken oft der Wohlfeilheit wegen die dicken Eisendrahtbullen an. Der Eisendrahtschuh hat zugleich vermöge seines Gewichtes den Zweck, die Seile in die Tiefe des Meeresgrundes zu versenken. Der Draht selbst muß ungefähr die oben gezeichneten Dimensionen haben, damit das Seil doch zugleich biegsam bleibt, um den Unebenheiten des Meeresbodens nachzugeben und zugleich transportabel zu sein; denn es muß in den gewöhnlichen ringförmigen Seilwindungen, natürlich von größerem Durchmesser, auf dem Schiffe untergebracht werden.

Die unterseeischen Telegraphenleitungen (Telegraphenseile, Telegraphenkabel, Telegraphentaue) sind natürlich der wichtigste Theil der Telegrapheneinrichtung zwischen zwei transmarinen Stationen.

Borzügliche Schwierigkeiten außer der nothwendig zu erreichenden Elasticität und Biegsamkeit legt das große Gewicht solcher Seile der praktischen Ausführung in den Weg; nicht so sehr, wenn das Seil einmal liegt, denn da ist das große Gewicht eher ein Vortheil, sondern beim Legen selbst, wo das Kabel mit seiner Wucht in die Meeres Tiefe sinkt und dabei die Stelle, die gerade über Bord gleitet, sehr stark ausdehnt; weil dem Hinabschleßen in die Tiefe nicht Folge gegeben werden darf, so müssen Bremsvorrichtungen angebracht werden, welche demselben Einhalt thun und der über Bord gehende Theil ist daher immer einer sehr starken Spannung ausgesetzt, weshalb es wohl allerdings geschehen kann, daß die äußere Drahthülle dem Drucke oder Zuge nachgiebt, wobei dann der innere Kern oder die eigentliche Leitung eine Dehnung erfährt, die zum Zerreißen derselben führen kann. Man hat daher vorgeschlagen, auch dem Kern spiralförmige Windungen zu geben, damit auch ihm ein Spielraum zum Nachgeben dargeboten werde. Die Ansichten darüber sind noch getheilt, doch scheint der gerade Kern über den spiralförmig gewundenen den Sieg zu erringen.

Einige Modificationen in Bezug der Hülle finden bei verschiedenen Patentträgern ebenfalls statt: gedörrter Hanf, Gutta-Percha, Kautschuklösung, Marineleim wechseln in verschiedenen Lagen und Dicken, als Hülle um den Kern mit einander ab. So hat z. B. Bonelli vorgeschlagen, Telegraphentaue bloß am Ausgangs- und Endpunkte der Station zu legen; durch die große Meeresstrecke aber will er einen einfach isolirten Kupferdraht führen, der mit einer Masse überzogen wird, welche in der Luft weich ist, im Wasser aber erhärtet.

Ueberall, wo Electricität erzeugt wird, tritt sie nicht allein auf; es hängt von dem Abfluß, der ihr geboten wird und von der größeren oder geringeren Isolirung, endlich vom Leitungswiderstande ab, ob eine Induction in der Umgebung eingeleitet wird oder nicht; daß im ersteren Falle dadurch eine Gegenwirkung auf den ursprünglichen Strom erzeugt werden kann, versteht sich von selbst und es haben die unterseeischen Telegraphentaue, besonders auf sehr große Strecken, beachtenswürdige Leitungsercheinungen gezeigt, so zwar, daß selbst ein gerechter Zweifel entstanden ist, ob man von Europa nach Amerika, wo keine Zwischenstation stattfinden soll, wird telegraphiren können, auch wenn die Leitung glücklich gelegt sein wird.

Besonders ist nach Farley der Umstand beachtungswerth, daß der Strom erst stufenweise an Intensität zunimmt, und um einen 1500 engl. Meilen langen

Draht von einer bestimmten Dicke zu durchlaufen, 7 Secunden braucht, damit er in voller Intensität am Endpunkte ankomme. Die zu telegraphirenden Zeichen könnten sich daher mit den gewöhnlichen Apparaten nur in großen Pausen folgen, und für die gewöhnlichen Handelszwecke würde ein solcher Telegraph viel zu langsam arbeiten. Barley will durch einen von ihm erfundenen Apparat eine schnellere Transmission zu bewirken im Stande sein. — Diesen sehr complicirten Apparat findet man näher beschrieben im Journale von Dingle, Bd. CXXXVI. S. 261 und 262.

Begreiflicherweise lag England am meisten daran, in directe telegraphische Verbindung mit dem Festlande zu treten. Die erste eigentliche unterseeische Telegraphenleitung war am 28. September 1851 vollendet, wo frühere Proben abgerechnet, ein nach unserer Eingangs gegebenen Beschreibung construirtes Telegraphentau, mit einer von Fennick erfundenen Maschine angefertigt wurde. Die Arbeiten fanden zu Wapping in London unter der Leitung von Wollaston und Crampton statt. Das Seil selbst hatte eine Dicke von ungefähr $4\frac{1}{2}$ Zoll, seine Länge betrug 24 englische Meilen und bildete im zugerollten Zustande einen fünf Fuß hohen Ring, dessen äußerer Durchmesser 30 Fuß, dessen innerer 15 Fuß maß. Beim Legen des Taus ereigneten sich kleine Schwierigkeiten, die aber überwunden wurden, und am genannten Tage erhielt die Königin Victoria die erste telegraphische Depesche mit dem Inhalte von der glücklichen Vollendung des Unternehmens. — Eben so glücklich als die Londoner Expedition fiel jene des Mittelmeer-Telegraphen aus; es sollte derselbe bei dem Beginn der Legung am 24. Juli 1854 von Spezzia aus nach Korsika gespannt werden, in einer Länge von 110 englischen Meilen, wo dann weiter der Landtelegraph der Insel die Verbindung zwischen diesem ersten und einem zweiten Transmarin-Telegraphen herstellen sollte, der 150 englische Meilen bis nach Sardinien und von da nach Afrika projectirt war. Das Tau von Spezzia nach Korsika wog 20000 Centner und war 120 Meilen lang, indem nur 10 Meilen auf die Senkungen berechnet wurden. Die Einsenkung des ersten Taus selbst nahm 24 Stunden in Anspruch und wurde von Herrn Brett glücklich vollendet. Eben so glückte auch die Verbindung von Korsika nach Sardinien. Die Verbindung aber von Sardinien nach Afrika wurde mittelst eines Segelschiffes und Dampfers versucht und mißglückte zweimal gänzlich. Gleiches Schicksal hatte das transatlantische Telegraphenprojekt, welches man von Cork in Irland nach Neufundland ausführen wollte. Lieutenant Maury hat im Jahre 1853 dazu die Idee wieder angeregt. (S. Dingle, Bd. CXXXIII. S. 74.)

In neuester Zeit machten nun diese Vorbereitungen eines submarinen Telegraphen von Europa nach Amerika bedeutendes Aufsehen. Die zu dem genannten Telegraphen verwendeten Drähte würden, einzeln mit einander verbunden, zu einer Telegraphenleitung nach dem Monde genügen, oder die Erde mehrere Male um den Aequator umspannen. Die Hälfte des Drahtes wurde nach Zeitungs-Notizen in England, die andere Hälfte in Amerika fabricirt.

Bei der einen Hälfte des transatlantischen unterseeischen Kabels, die bei Newall und Comp. in Birkenhead angefertigt wurde, ist am 18. Februar 1857 mit dem Ueberspinnen der Kupferdrähte begonnen worden und am 8. Juni desselben Jahres waren die 1250 Meilen fertig. Es ist dieses Tau ein Eigentum mit

18 Windungen, deren jede aus 7 dünneren Eisenwindungen besteht; der leitende Kern wurde aus 7 zu einem Strange zusammengedrehten Kupferdrähten angefertigt. Das Legen des Taus ist leider verunglückt; — das Tau ward beim Ueberbordgehen zu stark gebremset und riß, nachdem 335 Meilen gelegt waren. Wir wollen hoffen, daß später der großartige Gedanke dennoch sich realisiren möge.

Ueber die Anzahl der Leitungsdrähte. Gehen wir in der Geschichte der elektrischen Telegraphie rückwärts, so finden wir das, was bei so vielen Erfindungen statt hat, bestätigt, nämlich, wie sich aus dem Complicirten das Einfache bis zu einem Grade entwickelt, den man sich anfänglich nicht zu ahnen getraut. *Ampere* hatte 60 Leitungsdrähte nöthig, *Sömerring* 30, *Wheatstone* und *Cook* benutzten 5, *Gauß* und die neueren 2, bis endlich *Steinheil* durch Versuche gezeigt hat, daß man nur Einen nöthig habe, indem die Erde die Rolle des zurückführenden Drahtes übernehmen könne. Es ist dies eine der schönsten Entdeckungen in dem Gebiete der Leitungsversuche, über deren Verlauf die Gelehrten noch nicht recht einig sind. Man denke sich z. B. ein *Daniell'sches* Element, das Kupfer sei mit einem Drahte verbunden, welcher in einen Brunnen reicht, oder in einen Fluß, oder in das feuchte Erdreich; das Zink steht mit jenem Drahte in Verbindung, der zur anderen Station gespannt ist; dort windet er sich um den Zeichenapparat, geht aber, statt wieder zur ersten Station zurückzukehren, alsogleich in den Erdboden. Wie man nun den Strom durch Eintauchen des Zinks erzeugt, durchläuft er den Draht und giebt seine Existenz am Zeichenapparate zu erkennen; es bleibt nun die Frage: wirkt die Erde als großes Reservoir, indem sie die strömende Elektrizität aufnimmt und mit einem Widerstande = 0 verschwindend ableitet, oder kehrt der Strom wirklich durch die Erde wie durch einen Draht mit großem Querschnitt zu seiner Quelle zurück? *Matteucci* hat darüber Versuche angestellt, und wenn sie sich bestätigen (?), so scheint es, daß die Erde den Strom wirklich zurückleitet und zwar mit einem meßbaren, wenn auch geringem Widerstande. — *Petrina* sagt in seinem Telegraphen: die Leitung der Erde ist nicht so zu nehmen, daß etwa die galvanische Elektrizität von der einen Station durch die Erde zur andern laufe, und von dort durch den Draht nach der ersten Station zurückkehre, sondern sie ist folgender Weise aufzufassen. Ist auf der ersten Station der positive Pol der Säule mit der Erde verbunden, so nimmt diese seine Elektrizität auf, eben so gut, wie sie die Elektrizität einer Wolke in Form eines Blizes oder die einer thätigen Elektrifikationsmaschine aufnimmt, ohne sie in einen eigentlichen Strom zu versetzen und macht diesen Pol null elektrisch und den andern Pol doppelt negativ elektrisch, dieser entzieht die Elektrizität dem Leitungsdrahte, und der Leitungsdraht, der auf der zweiten Station mit der Erde verbunden ist, der Erde. So setzt sich die Erde mit positiv und negativ elektrischen Körpern ins Gleichgewicht, ohne an dem Orte, wo sie die Elektrizität hergegeben hat, eines Ersatzes zu bedürfen von dort, wo sie Elektrizität bekommen hat. Diese Meinung ist die jetzt allgemeinere und wird mit Recht in Zukunft als die einzig richtige durchgreifen. *Whright* und *Bain* haben im Jahre 1842 Versuche in Bezug auf Drahtleitung angestellt und haben dasselbe Resultat wie *Steinheil* gefunden. Uebrigens betrachteten sie ihre Versuche von einem anderen Gesichtspunkte, und in dem Journal-Artikel, welcher diesen Gegenstand erörtert, sind die Versuche, welche die Zurückleitungsfähigkeit der Erde be-

weisen, mit jenen, welche die Isolirung der Drähte als unnütz darstellen sollen, vermischt, daher dieser Aufsatz wenig Geltung hat.

Jacobi hat auch um dieselbe Zeit diese Versuche wiederholt, indem er die Leitungsdrähte, den einen mit der Rewa, den anderen mit einem Leiche verband und wobei der Verlust an Stromstärke nur 3 Proc. betrug, welcher Verlust auf $\frac{1}{2}$ Proc. herabgesetzt wurde, als er den ersten Draht nicht mit der Rewa, sondern mit den Stangen des Blitzableiters am kaiserlichen Winterpalaste, welche in den feuchten Erdboden reichen, verband. Einen Bericht Arago's bezüglich dieses Gegenstandes siehe in Comptes rendus 1845. T. XXI. p. 760 oder auch: Polytechnisches Centralblatt. Neue Folge. Bd. VII. Heft 8. S. 226.

In Folge der großen Geschwindigkeit der Elektricität (s. d. Art. Elektricität) ist es begreiflich, daß die Mittheilungen durch elektrische Telegraphen so ungemein schnell stattfinden.

Von Zeichenapparaten im Allgemeinen. Es ist der Zweck der Zeichenapparate, anzuzeigen, daß die Elektricitätsquelle in Thätigkeit gesetzt sei und daß sie den Leitungsdraht durchströme; in manchen Fällen markirt der Zeichenapparat die Dauer des jeweiligen Stromes, welcher Umstand zweckmäßig zur Zeichengebung benutzt werden kann.

Die physikalischen Grundsätze, nach denen diese Apparate gebaut sind und die durch sie gegebenen Zeichen stehen begreiflich mit der Beschaffenheit der Elektricitätsquelle in Beziehung. Bei der Reibungselektricität dient entweder die Abstößung zweier Korkkugeln, oder das Ueberspringen eines Funkens, oder möglicherweise auch die chemische oder physiologische Wirkung der überströmenden Elektricität zum Signale. Bei Volta'schen und magneto-elektrischen Strömen ist ebenfalls die chemische oder physiologische Wirkung ein Mittel, die Thätigkeit des Stromes sinnlich wahrnehmbar zu machen; allein wahrhaft praktisch sind nur jene Apparate, deren Einrichtung auf den Fundamentalversuch *Dersted's* basiert sind. Wenn die Elektricität einen mit einer beweglichen Magnetnadel parallelen Draht durchläuft, so wird bekanntlich die Nadel nach rechts oder links abgelenkt, je nachdem der Strom nach dieser oder jener Richtung im Leitungsdrahte sich bewegt (s. Artikel *Elektromagnetismus*). Durch mehrfache Windungen des Leitungsdrahtes um die Nadel wird die Wirkung auf die letztere verstärkt, namentlich wenn dieselbe astatisch ist (s. Art. *Multiplicator*).

Windet man aber den von der Elektricität zu durchlaufenden Draht spiralförmig um ein weiches Eisen, so wird dieses im Momente, wo der Strom wirklich den Leitungsdraht durchwandert, zum Magnet; es vermag dann ein in der Nähe befindliches Eisen an sich zu ziehen und in einer gewissen Stellung festzuhalten, verliert aber diese Eigenschaft augenblicklich, sobald der Strom zu wirken aufhört. — Im ersten Falle die Ablenkung der Magnetnadel, im zweiten die Anziehung eines in der Nähe angebrachten Eisens sind Bewegungen, welche gesehen, allenfalls markirt werden können und so die Basis für die elektrische Zeichensprache abzugeben im Stande sind.

Wir wollen nun die einzelnen Vorschläge bezüglich der elektrischen Telegraphie näher beschreiben.

Ueber Telegraphie mittelst der Reibungs-Elektricität. Winkler hat im Jahre 1746 die Entladung mehrerer Leidner Flaschen durch

einen Draht von beträchtlicher Länge vorgenommen. Die Pleiße wurde dabei als ein Theil der Verbindung benutzt.

Le Monnier in Paris brachte Erschütterungen hervor, wobei die Elektrizität einen Draht von 12000 Fuß durchlaufen mußte.

Watson in London dehnte den Versuch der Entladung auf eine Strecke von 4 engl. Meilen aus, wo zwei Meilen Draht und zwei Meilen trocknes Erdbreich die Kette gebildet haben sollen. — Die Versuche dieser drei Physiker bilden in der Geschichte der Telegraphie ungeahnte Vorarbeiten für die elektrische Telegraphie, denn sie betreffen die Leitungsfähigkeit auf große Distanzen.

Lessage beschreibt 1774 in einem kurzen unvollständigen Berichte einen Telegraphen, der aus vier Drähten bestand, die einer vom andern getrennt und isolirt waren. Jeder Draht stand mit einem eigenen Elektrometer in Verbindung. Wenn man nun je nach Bedarf eine gewöhnliche Elektrisirmaschine durch einen oder den anderen dieser Drähte entlad, so wurde hierdurch am betreffenden Elektrometer dieselbe Bewegung erzeugt, welche diesen oder jenen Buchstaben des Alphabets bezeichnete.

Lomond's elektrischer Telegraph. Young erwähnt in seinem 1784 erschienenen Werke „Travels in France“ der Erfindung Lomond's. Dieser hatte in einem Zimmer eine kleine Elektrisirmaschine, welche mit einem Hollundermarkkugel-Elektrometer in Verbindung stand; von der Maschine ging ein Draht in ein anderes Zimmer, wo sich ein ähnliches damit in Verbindung gebrachtes Elektrometer befand, und wo seine Frau die Bewegungen des Elektrometers in die Schriftsprache übersetzte. „Da es“, meint Young, „auf die Länge des Drahtes nicht ankommt, so kann man auf diese Weise in eine beliebige Entfernung eine Correspondenz führen.“

Reiher's Telegraph 1794. Er wollte sogenannte Blitzbuchstaben mit kleinen Staniolblättchen auf Glastafeln zeichnen und den jedesmal zu brauchenden Buchstaben durch elektrische Funken erleuchten, wobei er für jeden Buchstaben zwei Drähte nothwendig hatte. — Dr. Salva errichtete im Jahre 1798, von dem Infanten Don Antonio unterstützt, zu Madrid einen ähnlichen Telegraphen wie der eben angeführte, dessen Wirksamkeit seiner Zeit sehr gelobt wurde.

Bétancourt hatte nach einer Mittheilung von Humboldt im Jahre 1798 eine Drahtkette von Aranjuez nach Madrid gezogen, durch welche die Entladung einer Leidner Flasche vorgenommen wurde, was als telegraphisches Signal dienen sollte.

Francis Ronald hat im Jahre 1816 in London einen elektrischen Telegraphen ausgeführt und im Jahre 1823 beschrieben, bei welchem auf den beiderseitigen Stationen Uhren in gleichzeitige Bewegung gesetzt wurden, welche einen festen neben dem beweglichen Zifferblatte angebrachten Zeiger hatten. Auf dem Umfange des Zifferblattes waren 20 Buchstaben verzeichnet und so wie das betreffende Zeichen vor dem Zeiger sich befand, was bei gleichem Gange der Uhren (?) in demselben Momente an beiden Stationen der Fall war, wurde ein Funke durch Elektrometer auf der signalisirenden Station entladen, wodurch man auch auf der anderen Station dasselbe Zeichen an der dortigen Uhr ablesen konnte. Man muß bei dieser Art zu telegraphiren von einem Signal zum anderen warten, bis das Zifferblatt der Uhr eine Umdrehung macht, was abgesehen von der nothwendigen

Regulirung der Uhren und der Verwirrung, welche dennoch durch einmaligen ungleichen Gang entstehen müßte, den ganzen Vorschlag unpraktisch macht.

In Bezug auf Reibungs-Elektricität, meint Steinheil in seiner Schrift über Telegraphie (München 1838), woraus die meisten der eben angeführten historischen Notizen entlehnt sind, daß der alte Vorschlag Casallo's, das bloße Ueberspringen der Funken zum Zeichen zu wählen, am anwendbarsten wäre. Man müßte, um die Zeichen möglichst rasch zu geben und die Vorrichtung einfach herzustellen, bei dem Entladungsfunken einer kleinen Franklin'schen Tafel bleiben. Der Schall — so fährt Steinheil fort — welchen der überspringende Funke überall hervorbringt, wo der Leitungsdrabt auf kleinen Abstand getrennt ist, würde ein unzweideutiges Signalzeichen abgeben, das, wie wir (Steinheil) es als Grundbedingung bequemer Telegraphie früher ausgesprochen haben, unmittelbar auf das Gehör wirkt. Um in kleinen Zwischenräumen stets neue Ladungen herbeizuführen, würde eine Reibungsmaschine von mäßigen Dimensionen ausreichen. Schwerer möchte es sein, die Veränderlichkeit der elektrischen Erregbarkeit und der hygrometrisch verschiedenen Zustände der Atmosphäre zu beseitigen; doch sind die Schwierigkeiten zu überwinden, und es ist durchaus nicht entschieden, ob sich nicht bei gründlicher Behandlung des Gegenstandes Einrichtungen ergeben sollten, die durch ihre Einfachheit mit jedem anderen Princip rivalisiren können. Henry Heighon nahm 1844 ein Patent für England auf die Anwendung der Reibungs-Elektricität zur Telegraphie.

Winter's elektrischer Telegraph. Im Monat März 1845 stellte Kunkler im Namen Winter's an den niederösterreichischen Gewerbeverein den Antrag, daß die von diesem Letzteren vorgeschlagene Anwendungsart der Reibungs-Elektricität zum Telegraphiren von der Section für Physik begutachtet werden möchte. Der Verein erklärte sich dazu bereitwillig und es wurden von Winter im Vereinslocale Versuche angestellt, die sehr günstig ausfielen. Um aber auch einen größeren Maßstab an die Anwendbarkeit anlegen zu können, wurde die Direction der Wien-Viennagüßner-Bahn mit ins Interesse gezogen, und so wurde der Versuch zuerst vom Wiener Bahnhofe bis zur Station Reidling, also auf einer Strecke von 1000 Klaftern, später vom Wiener Bahnhofe bis zur Station Hengendorf, also auf 2600 Klafter, angestellt. Auf diese Entfernungen wurde als Nährungs-signal Schießpulver entzündet, und auf die gegebenen Worte vollkommen genau und gehörig schnell telegraphirt. Die Art und Weise, wie er sein Alphabet eingerichtet, und wie er die Leitungsdrähte führt, hat Winter meines Wissens seitdem noch nicht veröffentlicht. Ueber den Erfolg sind ihm aber die günstigsten Zeugnisse ausgestellt worden.

Telegraphie mittelst galvanischer und elektro-magnetischer Ströme. Sömmering's elektrischer Telegraph. Im Jahre 1808, also 18 Jahre nach der Entdeckung der galvanischen Elektricität, hat Sömmering in München den ersten auf Contact-Elektricität beruhenden Telegraphen hergestellt. Als Zeichen benutzte er die chemische Wirkung der Elektricität. Bekanntlich vermag ein galvanischer Strom ein mit etwas Schwefelsäure angesäuertes Wasser in seine Bestandtheile, Sauerstoff und Wasserstoff, zu zerlegen, wenn man die von den beiden Polen einer Volta'schen Säule ausgehenden Drahtenden je einen, in ein umgekehrtes, mit solchem Wasser gefülltes Gefäß (eine oben zugeschmolzene Glasröhre) leitet. Diese Gefäße stehen mit ihrem offenen

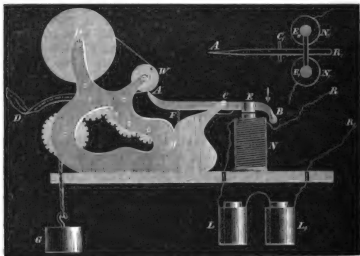
Enden in einem größeren mit demselben Wasser gefüllten Gefäße. Wenn nun die galvanische Kette geschlossen wird, so entwickelt sich an der einen mit dem negativen Pol in Verbindung stehenden und in das eine Gläschen reichenden Drahtspitze Wasserstoffgas, an der anderen Sauerstoffgas. Diese Gasarten steigen in den Glasröhren empor und drücken das durch den Luftdruck gehaltene Wasser herab, und man kann leicht die beiden Gasarten von einander unterscheiden, weil sich auf einen Theil Sauerstoff immer doppelt so viel Wasserstoff entwickelt. Wäre also auf einer Station eine Volta'sche Säule, auf der anderen zwei solche mit der Säule durch lange Drähte verbundene Gläschen, von denen das eine mit A bezeichnet ist, das andere mit B, so würde, wenn man in A den Wasserstoff, in B den Sauerstoff entwickelt, die Sylbe AB telegraphirt sein. Stellt man in der Säule durch Umwechslung der Drähte die Verbindung so her, daß in A Sauerstoff, in B Wasserstoff entwickelt wird, so hätte man die Sylbe BA signalisirt. Man sieht leicht ein, daß, wenn man auf der einen Station 24 Gläschen auf die früher beschriebene Art neben einander in ein rinnenförmiges Gefäß stellt, und ferner zu jedem Gläschen von der anderen Station ein isolirter Draht führt, man durch Verbindung je zweier Drähte auch je zwei Buchstaben und zwar wie oben AB und BA in ihrer dem Worte angemessenen Folge, mithin nach und nach ganze Sätze telegraphiren kann. Dieses das Princip des Sömerring'schen Telegraphen; die weitere Ausführung, nämlich das Umwechslern der Drähte, hat begreiflicherweise keine Schwierigkeiten.

Im Jahre 1819 machte Derstedt die so folgenreiche Entdeckung der Ablenkung einer Magnetnadel durch einen elektrischen Strom, und im Jahre 1829 hat Fehner in seinem Lehrbuche des Galvanismus die Aufmerksamkeit der Physiker auf den Umstand gelenkt, daß sich die elektromagnetischen Wirkungen der galvanischen Strömung weit vortheilhafter zur Zeichengebung eignen würden, als Sömerring's Wasserzerzeugung und führt als Beispiel an, daß man die Drähte von 24 Multiplicatoren, die in Leipzig aufgestellt wären, bis Dresden führen und dort mit einer Säule abwechselnd verbinden könnte, um Nachrichten von dort nach Leipzig zu bringen; ja er wagt schon voraus zu sagen, daß vielleicht später einmal eine solche Verbindung zwischen dem Centralpunkte einer Regierung und den verschiedenen Unterbehörden eingerichtet werden könnte.

Ampere's Telegraph. Um die Einrichtung seines Telegraphen zu verstehen, denke man sich auf einem vertical gestellten Streifen Papier die Lettern des Alphabets abgedruckt. Vor diesem Streifen Papier befinden sich in einer Reihe neben einander so viele Multiplicatoren als Buchstaben sind. Die horizontal schwebenden Nadeln der Multiplicatoren sind an den Enden von leichten sehr dünnen verticalen Holzstäbchen befestigt, welche letztere mit dem anderen Ende an Fäden hängen; zugleich sind an den Holzstäbchen kleine papierne Schirme so angeklebt, daß, wenn die Nadeln nach Norden weisen, alle Schirme zugleich die rückwärts befindlichen abgedruckten Lettern verdecken. Leitet man nun von der anderen Station durch einen der Multiplicatoren den elektrischen Strom, so wird die Nadel abgelenkt, der durch das Holzstäbchen mit ihr verbundene Schirm dreht sich ebenfalls, und es wird der hinter dem Schirm aufgezeichnete Buchstabe sichtbar, kann abgelesen und aufgezeichnet werden. Sömerring konnte, durch die Natur seines Zeichenapparates beschränkt, nicht leicht weniger Drähte anwenden, als die Hälfte der zur Telegraphie nothwendigen Zeichen. Ampere braucht doppelt so

viel Drähte als Zeichen; er hat wahrscheinlich mit Einschluß der Ziffern, wie schon erwähnt, über sechzig Drähte benutzt, was seinem Apparate alle praktische Brauchbarkeit schon von vornherein benimmt.

Morse's elektrischer Telegraph. N ist ein hufeisenförmig gebogenes weiches Eisen, welches spiralförmig mit isolirtem Drahte umwickelt ist. E ist ein Anker aus weichem Eisen, welcher an dem Wagebalken A C B so angebracht wird, daß er sich um C drehen, also vom Elektromagneten N, wenn er durch den Strom eben magnetisch geworden, nach der Richtung des Pfeiles angezogen werden kann. In dem Augenblicke nun, wo C E abwärts gezogen wird, bewegt sich das andere Ende A C des Wagebalkens, welches mit einer stumpfen Spitze A



versehen ist, natürlich nach aufwärts und drückt gegen die Walze W. Ueber diese läuft von D aus, sich abwickelnd, ein 1 Zoll breiter Streifen eines sogenannten endlosen Papiers, welches vom Stifte A einen Eindruck aufnimmt, der dadurch noch vergrößert wird, daß in der Walze W, dem Stifte gegenüber eine rund herumlaufende Nuth sich befindet, welche gerade so tief ist, daß der Eindruck in das Papier gepreßt werden kann, ohne daß dieses zerreißt. Die Abwicklung und Fortführung des Papierstreifens über die Walze W geschieht durch ein Uhrwerk, welches vermittelt eines in der Zeichnung nicht angegebenen Sperrhakens mit dem Gehelarme A C B in Verbindung steht, so zwar, daß, wenn E von N angezogen wird, der Sperrhaken sich auflöst, die Uhr zu gehen und mit ihr das Papier von der Rolle D sich abzuwickeln beginnt. Der Sperrhaken ist so eingerichtet, daß er nicht gleich wieder einfällt und überhaupt so lange ausgelöst bleibt, als man telegraphirt, wenn nur die Zeichen in nicht zu langen Pausen auf einander folgen. Läßt man den Strom nur einen Augenblick wirken, so drückt A nur einen Augenblick gegen das Papier und man erhält darauf einen Punkt; läßt man den Strom längere Zeit wirken, so wird A immer an W angegedrückt, und da sich das Papier

unterdessen weiter fortbewegt, so hinterläßt A auf demselben einen Strich. Punkt und Strich sind also die beiden Zeichen, mit denen man telegraphirt und woraus man das Alphabet zusammensetzt. Morse bezeichnet sein ursprüngliches Alphabet nach einer von seinem Commisſionär ausgetheilten Lithographie auf folgende Weise:

A . —	H	O . .	U . . —	1 . — — .
B — . .	I . .	P	V . . . —	2 . . — . .
C . . .	J — . — .	Q . . — .	W . — —	3 . . . — .
D — . .	K — . —	R . . .	X . — . .	4 —
E .	L — — —	S . . .	Y	5 — — —
F . — .	M — —	T —	Z	6
G — — .	N — .			7 — — . .
				8 —
				9 — . . —
				0 — —

Die mit diesen Buchſtaben auf dem Papierſtreifen eingravirte Depeſche kommt bei D zum Vorkommen.

Der Wagebalken, oder beſſer geſagt der Hebelarm A C B wird durch die Feder F immer ſo gehalten, daß, wenn die Kraft des Stromes nicht wirkt, A von W und E von N entfernt bleibt; ferner wenn der Strom die Drahtſpirale durchläuft, der Anker vom Elektromagnete angezogen wird und die Spitze auf die Walze drückt, ſo muß dieſe letztere ſo geſtellt ſein, daß, wenn A durch den magnetiſchen Zug am anderen Ende in die Furche eingepreßt wird, dennoch E und N ſich nicht berühren, weil ſonſt die magnetiſche Kette vollkommen geſchloſſen wäre und der Anker durch die geringe Kraft der Feder F, auch wenn der Strom zu wirken aufhört, nicht losgeriſſen werden könnte. Statt einer Spitze kann man zwei oder drei neben einander anbringen, wo dann auch in die Walze zwei oder drei entſprechende Furchen eingedreht werden müſſen. Man erhält auf dieſe Weiſe zwei oder drei gleichzeitige, ſolgliſch genau gleich geſchriebene Depeſchen, welche man der Länge des Papierſtreifens nach aus einander ſchneiden kann, wo dann ein Exemplar im telegraphiſchen Bureau bleiben, die anderen an die betreffenden Behörden oder Perſonen abgegeben werden können. Die Uhr M, gerade keine ſchwierige Aufgabe für einen Uhrmacher, muß nur ſtark genug ſein, um alle Reibungen zu überwinden, wozu übrigens ein Gewicht von 12 bis 15 Pfund vollkommen genügen dürfte. Die kleine Figur mit den Buchſtaben A C, E, E., N, N., B bezeichnet, giebt eine Oberanſicht des Ankers und Hebelarmes A C B und der Magnetpole des Elektromagneten.

Morse's Zeichengebungs-Apparat hatte in der erſten Zeit den Uebelſtand, daß die Stromſtärke, durch welche die Anziehung des Eiſenankers bewirkt wird, und die Stärke der Feder, welche den Anker nach der entgegengeſetzten Richtung entfernt, in einem gewiſſen Verhältniß ſtehen müſſen, um die Zeichen im regelmäßigen Takte geben zu können, indem im entgegengeſetzten Falle es möglich iſt, daß ein Zeichen ausbleibt oder aus einem Punkte ein Strich wird, was zu Irrungen Anlaß geben würde. Dieſen Uebelſtand hat man nach Dujardin und Brequet auf folgende Weiſe zu umgehen geſucht:

Beim Morse'schen Telegraphen geht der Strom um den Elektromagnet, er verſchwindet wieder, und der Anker aus weichem Eiſen wird durch den abwechſelnd entſtehenden Magnetismus angezogen, durch die Feder am Anker aber immer wieder

entfernt. Denkt man sich nun, daß die Einrichtung getroffen ist, den Strom um den Elektromagnet in seiner Richtung wechseln zu können, so werden auch die Pole des Elektromagneten wechseln; wirkt nun einer derselben auf den Pol eines um eine horizontale Ase beweglichen Stabmagnets, so wird dieser letztere vom Elektromagneten in einem Falle angezogen, im anderen abgeschlossen, und da diese Abstoßung eben durch die magnetische Kraft bewirkt wird, so braucht man keine Feder, und die Intensitäten der Anziehung und Abstoßung sind immer im richtigen Verhältniß zur Stromstärke. Allein durch den Wechsel der Stromrichtung und der dadurch bedingten Polumkehrung bleibt im Elektromagneten nach einiger Zeit immer ein sogenannter magnetischer Rest, der die neue Wirkung des gewechselten Stromes schwächt und soll er unschädlich werden, starke Ströme erfordert.

Relais. Um auf große Distanzen für die Bewegung des Morse'schen Apparates nicht zu starke Ströme anwenden zu müssen und doch mit gehöriger Kraft telegraphiren zu können, hat Morse und später Brequet den Vorschlag gemacht, an jeder Station den Zeichenapparat mit einer hinlänglich starken Batterie in Verbindung zu bringen, deren Kette aber nicht geschlossen ist. Die Leitung der Telegraphenlinie steht nun gar nicht mit dem Zeichenapparate in directer Verbindung, sondern man lenkt nur durch einen gewöhnlichen schwachen Strom eine Magnetnadel ab, diese schließt durch ihre Bewegung die Kette der Batterie, welche mit dem Zeichenapparate in Verbindung steht. Geht die Nadel zurück, so öffnet sich die Kette wieder und man telegraphirt nun auf die gewöhnliche Weise mit Punkten und Strichen.

Später wurde dieses sogenannte Relais, das heißt, die Localbatterie mit ihrer Schließungsvorrichtung beim Morse'schen Telegraphen allgemein eingeführt. Diese Schließungsvorrichtung oder das eigentliche Relais besteht nun in neuester Zeit aus einem Elektromagnete mit einem hebelartigen Anker, gerade so wie bei dem Morse'schen Zeichenapparate, nur daß das Ende A des Ankers nicht auf eine Walze drückt, sondern mit einer metallenen Säule in Berührung kommt, wodurch die Localbatterie geschlossen wird, die durch den Zeichengeber geht. In unserer Figur S. 242 bedeuten L und L, die Localbatterie, und der Strom geht von R um den Elektromagneten herum durch L und L, nach R, wenn nämlich das Relais die Verbindung zwischen R und R, herstellt und die Kette schließt. Man sieht ein, daß, wenn das Relais, durch den Strom von der anderen Station angeregt, einen Augenblick die Kette schließt, auch der Zeichengeber einen Augenblick wirkt, also einen Punkt macht. Wenn das Relais längere Zeit die Kette schließt, so bleibt auch der Zeichengeber längere Zeit in Thätigkeit und macht einen Strich.

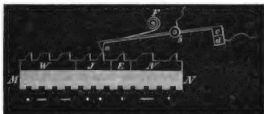
Translator. Die telegraphische Depesche, welche von einer Station zu einer anderen entfernten Station gelangen soll, muß alle Zwischenstationen durchlaufen, und telegraphirt also die Nachricht durch alle Zwischenstationen. Da diese aber kein Interesse haben die Depesche zu lesen, so kann der Telegraphist den Zeichen- oder Schreibapparat aushängen, natürlich ohne die Leitung zu unterbrechen. Läßt man aber in Zwischenstationen den Morse'schen Zeichengeber mitwirken, so kann gleich der Zeichengeber selbst die Nachricht von einer Station zur anderen telegraphiren, wenn man den Zeichenapparat mit einem sogenannten Translator versteht, wie ihn Steinheil angegeben hat. Dieser Translator besteht aus einer metallenen Säule, die zwischen den Polen des Elektromagneten

NN, Fig. S. 242 angebracht ist. Der Hebel AB hat bei B eine Spitze, die beim Herabgehen des Hebelarmes mit dieser Säule (die auf der Zeichnung nicht sichtbar ist, weil sie durch den Elektromagneten verdeckt wird) in Verührung kommt. Ist dieser Hebelarm mit dem Drahte nach der nächsten Station in Verbindung, während die Säule mit der sogenannten Translatorbatterie, die neben der Localbatterie aufgestellt ist, metallisch zusammenhängt, so ist der Strom zum Melais der entfernten Station geschlossen, sobald Hebelarm und Säule sich berühren. Da dieses nach Abgabe der Zeichen stattfindet, so pflanzt sich die telegraphirte Nachricht durch den Zeichengeber selbst weiter fort. Es versteht sich von selbst, daß der andere Pol der Translatorbatterie, der nicht mit der metallenen Säule in Verbindung ist, in die Erde geleitet sein muß, um die Kette zu schließen.

Was die Manipulation mit dem Morse'schen Telegraphen betrifft, so kann sie entweder aus freier Hand geschehen, wo dann die Nichtigkeit der Depesche von der Verlässlichkeit des Telegraphirenden abhängt, oder man kann die Depesche aus eigenthümlich construirten Lettern zusammensetzen, die richtig gesetzt, die Depesche auch vollkommen richtig telegraphiren. Um eine klare Einsicht in den Verlauf der Sache zu bekommen, denke man sich an einer Station die Batterie, an der anderen den Zeichenapparat durch einen hin- und durch die Erde zurücklaufenden Draht mit einander verbunden. Der Draht ist in der Nähe der Batterie an einer Stelle unterbrochen. Bringt man nun mit der Hand die beiden Enden nur auf einen Moment in Verührung, so entsteht ein momentaner Strom und am Zeichenapparate ein Punkt, läßt man die Verührung andauern, so entsteht dort ein Strich. Der Telegraphirende muß, um schnell zu telegraphiren, das Alphabet auswendig können, dann kann er es auch durch Uebung dahinbringen, 30 und noch mehr Buchstaben in der Minute zu schreiben. Hat er seine Depesche telegraphirt, so muß sie, wenn man absolute Zuverlässigkeit will und die Zeit es erlaubt, von der nächsten Station zurücktelegraphirt werden, und wenn man sich dadurch überzeugt hat, daß kein Irrthum vorgefallen, schreibt man von der ersten Station aus das Wort „richtig“ und nun kann die Depesche erst abgeliefert werden. Um die Kette mit der Hand zu schließen dient der sogenannte Morse'sche Schlüssel, den wir später bei Gelegenheit der Commutatoren und des Tastbrettes näher beschreiben werden.

Anstatt, daß man mit der Hand die Drähte zur Verührung bringt, wurde bei diesem Telegraphen auch eine mechanische Vorrichtung, besonders für geheime Depeschen vorgeschlagen, vermittelt welcher man die Herstellung und Unterbrechung des Stromes auf eine sichere und gleichmäßige Weise einzuleiten im Stande ist. Diese Vorrichtung hat Morse, und später von ihm unabhängig, General Augustin angegeben. Man macht sich telegraphische Lettern aus Messing, welche nach der Länge in eine Ruth eingeschoben werden, in der sie durch einen Seitenansatz fest halten. Man reiht diese Lettern, deren jede ihre bestimmte Bedeutung hat, so wie andere Lettern an einander, um daraus Worte und Sätze zu bilden. Dieses Letternlineal, welches auf der den Lettern entgegengesetzten Seite gezahnt ist, greift in das Rad eines Uhrwerks ein und wird seiner Länge nach von diesem fortgeschoben, während ein Hebel mit seiner umgebogenen Spitze über die Lettern hingeleitet. Wenn diese Spitze in die Vertiefungen einfällt, ist der Strom unterbrochen, wenn sie über die Erhöhung hinläuft, ist der Strom hergestellt; ist diese Erhöhung nun selbst eine Spitze, so dauert der Strom nur einen Augenblick, ist

ße ein längerer Strich, so dauert der Strom so lange, als eben das Hebelende Zeit braucht, um den Strich zu durchwandern. Die beistehende Zeichnung wird die Form der Lettern und den Mechanismus deutlicher machen. Gesezt man hñe das im Eingange von Morse angeführte Alphabet angenommen, so müßte man, wenn man das Wort „Wien“ telegraphiren wollte, die Lettern W, i, e, n, aneinander reißen, wo dann, wie man aus der Form der Erhöhungen leicht sieht,



W durch — — • — —; i durch • — —; e durch • • und n durch • — • repräsentirt wird; a b c ist der Hebel, a die Spitze, b der Drehungspunkt, c das andere breite Ende des Hebels. Durch eine Feder wird der Hebel mit dem Ende a immer an das Letternlineal MN angebrückt und folgt so, da sein Drehungspunkt fest ist, um diesen schwankeud, den Erhöhungen und Vertiefungen der Lettern. Während a wie in der Zeichnung, auf der Erhöhung gleitet, wird das metallene Ende b c mit dem Metallstück d in Berührung gebracht, und da b mit dem einen Leitungsdrahte, d (ein unbewegliches Metallstück) mit dem anderen in Verbindung steht, so ist der Strom hergestellt, was sich am Zeichenapparate auf die bekannte Weise markirt; wenn a von der Erhöhung abglenkt, entfernt sich c von d durch die Kraft der Feder und der Strom ist unterbrochen.

Diese Art zu telegraphiren hat zwei Vortheile, erstens den der Sicherheit; denn ist die Depesche richtig gesezt, was man leicht überwachen kann, so wird sie auch richtig telegraphirt, und zweitens den der Möglichkeit, die Depesche ganz geheim zu halten, denn Niemand von den am Telegraphen manipulirenden Personen braucht die Bedeutung der Lettern zu kennen, und um das Deciffriren zu vermeiden, kann man nach einem vorherbestimmten Geseze die Bedeutung auch täglich oder wöchentlich ändern. Es ist klar, daß ein solcher Letternrechen auch dann angewendet werden kann, wenn nur Ziffern telegraphirt werden sollen und man ein Correspondenz-Buch eingeführt hat; übrigens hat diese sinnreiche Vorrichtung nicht durchgegriffen.

W a u ß' elektrischer Telegraph. Die Bekanntmachung dieses Telegraphen dürfte in das Jahr 1836 fallen. Die Stromquelle, welche W a u ß angewendet, ist keine galvanische, sondern eine magneto-elektrische. Es wurde eine große Rolle (Holzpule) mit Draht vielfach umwunden und konnte mittelst zweier Handhaben über den Pol eines sehr starken Lamellenmagnets gestützt oder vom Magnete entfernt werden, in welchen beiden Fällen zwei, der Richtung nach entgegengesetzte Ströme entstehen, welche nach der anderen Station fortgepflanzt, dort eine große Multiplikatornadel entweder nach rechts oder nach links ablenken. Die Art, wie diese Ablenkung beobachtet wurde, hatte W a u ß von einer anderen Unter-

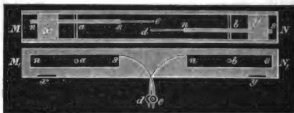
suchung über die Declinations-Variationen entlehnt; mit der Nadel nämlich steht ein Spiegel in Verbindung, der sich mit ihr zugleich nach rechts oder links dreht. Richtet man ein Fernrohr, unter welchem eine lange auf Papier verzeichnete Scala befestigt ist, nach diesem Spiegel, so zwar, daß man die Scala im Spiegel sieht, so wird, wie sich der Spiegel mit der Nadel bewegt, auch das Bild der Scala sich bewegen, woraus man auf die Ablenkung nach rechts oder links schließen kann.

Schilling von Cannstadt hat im Jahre 1837, wie schon früher erwähnt, in Wien Versuche mit seinem Telegraphen angestellt; er benutzte, wie es scheint, der Erste nur zwei Drähte, zwischen welchen an der anderen Station ein Multiplikator eingeschaltet war, an welchem die Nadel durch Stromwechsel nach Willkür entweder rechts oder links abgelenkt werden konnte. Schilling basirte darauf sein Alphabet, z. B. eine Zuckung rechts = a, eine links = b, zwei rechts = c und so fort. Natürlich hatte man dann zwischen je zwei Buchstaben eine kleine Pause zu machen. Damit die an einem Coconsaden hängende Nadel gleichmäßig abgelenkt werden und ohne Schwankung wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückkehren mußte, war unten an der astatischen Nadel nach vertical abwärts ein Platinendraht befestigt, welcher in ein breiteres steuerruderartiges Blech endigte, das in ein Gefäß mit Quecksilber tauchte, wodurch die Nadel mit einer gewissen Gleichmäßigkeit ihre Bewegungen machte.

Wheatstone's und Cook's Telegraph, 1837 patentirt und später ausgeführt, hat seiner Zeit großes Aufsehen erregt. Er ist wirklich sinnreich eingerichtet, hatte aber fünf und mit dem Lärmisignal sechs Drähte nöthig, die, wie Jacob i erzählt, nach Wheatstone's Methode unterirdisch fortgeleitet, leicht Nebenleitungen zulassen, wodurch statt zweier Nadeln, die man mit der Batterie durch eine sehr sinnreich construirte Claviatur in Verbindung bringt, alle fünf zu spielen anfangen, was den Telegraphen in einzelnen Fällen unpraktisch macht. Der Zeichenapparat Wheatstone's ist recht nett. In der Ruhe stehen die fünf Nadeln neben einander vertical, und nun kann man mittelst der Tastatur je zwei Nadeln nach oben oder nach unten in Convergenz setzen, durch welche Combinationen das Alphabet gegeben ist. Der Durchschnittspunkt der verlängerten Richtungen je zweier abgelenkter Nadeln ist auf einem Brete, über welchem die Nadeln spielen, verzeichnet und nebenbei steht der betreffende Buchstabe. Eine ausführliche Beschreibung dieses Telegraphen findet man in Dingley's Journal, Bd. LXXII. Cook und Wheatstone sind übrigens nicht bei diesem einzigen Systeme stehen geblieben, sie haben unausgesetzt sich mit der Verbesserung der elektrischen Telegraphie beschäftigt, und Wheatstone hat auch das Buchstabenrad in Anwendung gebracht, dessen später bei Duetelet's Telegraphen Erwähnung geschieht. — Sie scheinen ihr System, wenigstens anfänglich, weniger für telegraphische Correspondenz eingerichtet zu haben, als vielmehr für die Signalisirung behufs des Eisenbahnbetriebs, auf den vielfach verzweigten Eisenbahnen Englands. Diese werden so häufig befahren, daß die Direction, wie Cook erzählt, es früher für unmöglich hielt, durch Zeittafeln für die Bahnzüge dem Publikum die gewünschte Sicherheit zu gewähren, und daß sie sich für gewisse Strecken überzeugt hielt, weit besser zu thun, wenn sie ohne Fahrordnung alles der Aufmerksamkeit der Locomotivführer und des Bahnpersonals überließe.

Steinheil's elektrischer Telegraph (1838). Steinheil benutzte als Electricitätsquelle einen magneto-elektrischen Apparat nach der Con-

struction von Clarke, mittelst welcher er durch angebrachte kleine Modificationen einen momentanen, aber intensiven Strom im gehörigen Wechsel durch den Leitungsdraht zu senden im Stande ist. Es ist hier nicht der Ort in die detaillirte Beschreibung dieses Apparates einzugehen und ich verweise daher diejenigen, welche näheres Interesse daran nehmen, auf Steinheil's schon erwähnte Broschüre „Ueber Telegraphie“ München 1838. Der durch diesen Apparat erregte Strom durchläuft nun den Leitungsdraht, in welchen an der anderen Station ein Multiplikator eingeschaltet ist, dessen Drähte um ein Gehäuse MN laufen (s. beisteh. Fig.), in welchem zwei Magnetenadeln n a s und n b s um die Verticalen a und b drehbar sind. Die Multiplikatordrähte sind der Länge nach über die Adeln gewunden,



diese selbst aber drehen sich nicht in einer und derselben horizontalen Ebene, sondern n b s ist etwas tiefer angebracht als n a s. Ferner sind d und e zwei kleine Gefäße, zur Aufnahme schwarzer Delfarbe bestimmt, sie haben sehr fein durchbohrte und nach vorne abgerundete Schnäbel. Wenn Delfarbe in die Gefäße kommt, zieht sie sich vermöge der Capillar-Attraction durch die Bohrung der Schnäbel und bildet an ihren Oeffnungen, ohne auszufließen, halbkugelförmige Erhöhungen. Die leiseste Berührung reicht also hin, einen schwarzen Punkt zu fixiren. Wird der Multiplikator draht dieses Zeichengebers galvanisch erregt, so streben die Magnetstäbchen wegen der gleichen Lage ihrer Pole in demselben Sinne entweder nach rechts oder nach links auszuweichen, wenn der Strom nach einer oder der anderen Richtung geht; allein n a s kann von M aus gesehen, nur nach rechts aus dem Gehäuse heraustreten, nach links kann sich die Nadel nicht wenden, weil sie mit einem kleinen Häpfchen an x anstößt. Wechselte man den Strom, so ist dasselbe, nur von N aus, im umgekehrten Sinne mit n b s der Fall. Man kann also nach Willkür entweder d oder e, aber immer nur eine Nadel aus dem Gehäuse heraustreten lassen, wo man dann auf einem durch ein Uhrwerk vorbeigezogenen Streifen Papier einen höher oder nieder liegenden Punkt markirt erhält und woraus Steinheil sich sein Alphabet construirte, z. B. $\cdot\cdot = a$, $\cdot\cdot\cdot = n$, $\cdot\cdot = n$, $\cdot\cdot = v$, $\cdot\cdot\cdot = z$ und so fort. Er wählte die Zeichen so, daß gewissermaßen durch die Stellung der Punkte so viel wie möglich die Form der Buchstaben repräsentirt wird. — Statt der Gefäße d und e kann man kleine Hämmer anbringen, welche dann bei ihrem Heraustreten an Glocken anschlagen und zwar die höhere Nadel an eine Glocke mit höherem Ton, die niedrigere Nadel an eine mit tieferem Ton, wodurch dieser Telegraph zu einem akustisch-elektrischen wird, wo dann der Manipulations-Beamte die Folge von Tönen niederschreibt und entweder selbst entziffert, oder an den Ort seiner Bestimmung als Geheimschrift abgibt.

Vorselmannde Heer machte im Jahre 1839 in einer Schrift: *Théorie de la Télégraphie électrique* eine neue Art eines elektrischen Telegraphen bekannt; er giebt damals dem Wheatstone'schen Telegraphen den Vorzug, meint aber, wenn man die physiologischen Wirkungen eines elektrischen Stromes zur Zeichensprache anwenden würde, so könnte diese Wirkung auf eine bedeutend größere Entfernung fortgepflanzt werden. 100 Plattenpaare mit wenig gesäuertem Wasser als flüssigem Leiter, sollen nach seiner Berechnung in 154 Stunden Entfernung merkliche Wirkungen auf eine in dem Kreise befindliche Person ausüben, während durch dieselben Elemente die nöthigen magnetischen Wirkungen nur bis auf $\frac{1}{8}$ der angegebenen Entfernung fortgepflanzt werden könnten. Er wendet 10 Drähte an, welche sehr schwach sein können; diese stehen an jeder Station mit 10 gut isolirten Tasten in Verbindung, welche, wenn sie niedergedrückt werden, mit ihren umgebogenen Enden in Quecksilbergefäße tauchen, die mit den Polen des Erregungsapparates communiciren. Beim Telegraphiren legt der, welcher die Nachricht empfangen soll, alle zehn Finger auf die Tasten; derjenige, welcher die Nachricht giebt, drückt je zwei Tasten nieder, wodurch der elektrische Stoß durch je zwei Finger jener Person geht, welche dort alle Tasten berührt. Durch die verschiedenen Wege, welche der Strom durch die Finger nimmt, ist man im Stande 45 verschiedene Zeichen zu geben. Der, welcher die Stöße empfängt, muß sein physiologisches Alphabet gut auswendig wissen und seine Empfindungen dictando übersetzen. So wie de Heer seinen Gedanken auszuführen vorschlägt, ist er gewiß nicht praktisch. Jacobi hat aber mit dem physiologischen Telegraphen Versuche angestellt und gefunden, daß man einen Stoß von je zwei schnell auf einander folgenden recht gut unterscheiden könne, ja daß es selbst bei drei Stößen möglich sei, diese zu zählen; darauf ließe sich allerdings ein Telegraph gründen. Zwei Drähte, welche auf einer Station mit der Batterie in Verbindung gesetzt werden können, gehen auf der anderen in zwei Platten aus; auf diese legt man zwei Finger der linken Hand und mit der rechten schreibt man nieder, in welcher Anzahl und Folge man die Stöße empfindet. Um endlich dem Beobachter das Beginnen einer telegraphischen Mittheilung anzugeben, werden nach Vorselmannde Heer die fünf Tasten der einen Hand metallisch und mit einem Körpertheile verbunden, eben so die fünf Tasten der anderen Hand, welche mit einem anderen Körpertheile verbunden werden. Der erste durch den Apparat gehende Strom theilt dem Beobachter nun eine Zuckung mit, welche hinreichend stark ist, ihn selbst aus tiefem Schlafe zu wecken, wodurch, beiläufig gesagt, der Dienst beim Telegraphen gerade kein beneidenswerther wäre.

Quetelet's telegraphischer Apparat. In einer Notiz vom Jahre 1841 findet man im *Echo de monde savant* No 610 folgende Beschreibung seiner Erfindung: Zwei runde Zifferblätter, welche sich an den beiden Endpunkten befinden und welche durch zwei isolirte Leitungsdrähte in Verbindung gesetzt sind, tragen die Buchstaben des Alphabets. Indem man die Buchstaben nach einander vor einen Zeiger führt, was mittelst des Zifferblattes, von welchem die Signale ausgehen, geschieht, bewirkt man, daß dieselben Buchstaben sich augenblicklich vor einem ähnlichen Zeiger auf dem Zifferblatte, welches die Signale aufnimmt, zeigen. In einer Minute können wenigstens 50 Buchstaben übertragen werden. Näheres ist über die Einrichtung nicht angegeben. Dieses Buchstabenrad taucht in der elektrischen Telegraphie öfters als Erfindung auf, scheint aber in der tele-

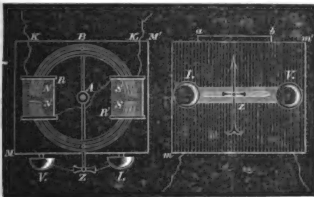
graphischen Praxis nicht durchzugreifen, obgleich das Princip bei den elektrischen Uhren in Anwendung ist. Wir haben eine Anwendung schon bei der Reibungs-Elektricität angeführt, und Arago beschreibt es in seinem Berichte folgendermaßen:

Das Buchstabenrad ist mit einem Sperrhaken von Eisen in Verbindung, welcher durch einen in der Nähe befindlichen Elektromagnet ausgelöst wird, sobald dieser letztere durch den Strom in Thätigkeit gesetzt ist. Das Rad bewegt sich vorwärts und so wie der Strom unterbrochen wird, fällt der Sperrhaken wieder ein, das Rad ruht und der jedesmal an der höchsten Stelle stehende Buchstabe wird abgelesen, denn man läßt eben den Strom so lange wirken, bis derjenige Buchstabe, den man gerade braucht, an der höchsten Stelle sich befindet.

Bain's elektrischer Drucktelegraph. Dieser Apparat, welcher in den Zeitschriften und besonders von Fardely gelobt wird, verdient nach meiner Ueberzeugung dieses Lob nur wegen seiner gewiß scharfsinnigen Einrichtung, keineswegs aber wegen der allgemein praktischen Anwendbarkeit. Bain scheint im Laufe der Zeit mehrere, wenn auch nicht wesentliche Veränderungen vorgenommen zu haben. Seine Erfindung geht darauf hinaus, durch einen elektrischen Strom eine Bewegung hervorzubringen, durch welche ein im Gange befindliches Uhrwerk plötzlich angehalten werden kann. Wir müssen, um einigermaßen eine Einsicht in die Sache zu bekommen, den physikalischen Theil voraus beschreiben. Bain's Elektricitätsquelle ist (laut Dingle's Journal Bd. XC.) die Erde; er setzt Zink- und Kupferplatten in dieselbe und verbindet sie durch einen isolirten Draht, wodurch ein constanter elektrischer Strom entsteht, der hinreichen soll, den Telegraphen seiner Construction in Thätigkeit zu setzen. Bei anderen Telegraphen geht die Uhr oder der Zeichenapparat so lange, als der Strom in Thätigkeit ist, bei Bain's Telegraphen findet das Umgekehrte statt.

Man denke sich ein Zifferblatt mit den Buchstaben des Alphabets und eben so viel Löchern an einer Uhr so angebracht, daß es von dieser (elektrisch-) isolirt z. B. mit der Zinkplatte in Verührung steht; der Zeiger der Uhr ist in leitender Verbindung mit der Kupferplatte; stößt dieser nun während seines Umlaufes bei irgend einem Buchstaben an einen in das dazu gehörige Loch des Zifferblattes gesteckten Metallstift, so ist die Kette durch Zifferblatt, Stift und Zeiger geschlossen, durch Ablenkung eines Multiplicatorrahmens fällt der Sperrhaken ein, die Uhr steht still, und die Kugeln eines mit der Uhr zugleich in Bewegung gewesenen Centrifugal-Regulators sinken herab und bewirken durch einen sehr sinnreich angebrachten Mechanismus, daß ein Buchstabe, welcher mit dem durch den Stift im Zifferblatte bezeichneten Buchstaben gleichbedeutend ist, gegen einen um einen Cylinder gewickelten Papierstreifen angebrückt, und da er geschwärzt ist, auch abgedruckt wird. An der anderen Station ist ein ganz gleicher Zeichenapparat, der auch dann stille steht und dieselben weiteren Functionen verrichtet, wenn der Strom durch den ersten Apparat geschlossen ist, wie dieser selbst. — Es ist nicht möglich ohne bis ins kleinste Detail ausgeführte Zeichnung den Mechanismus näher zu erklären, daher wir auf das citirte Journal verweisen. Es beschreibt diesen Apparat auch Fardely in seiner Broschüre „Der elektrische Telegraph, Mannheim 1844“, jedoch in Bezug auf das Zeichenrad und die Elektricitätsquelle abweichend von der hier gegebenen Darstellung.

Bain's elektrischer Zeichentelegraph, so beschrieben, wie er in Oesterreich durchgehends eingeführt ist. Dieser nicht selbst registrierende Telegraph ist als bloßer Zeichenapparat unstreitig der am meisten praktische. Seine Einrichtung werden folgende Zeichnungen deutlich machen. SBN und NZS sind zwei horizontale, halbkreisförmige, magnetisirte Stahl-Lamellen, welche an dem Metallstücke BZ angeschraubt sind, das seinerseits an die Metallaxe A befestigt ist, welche, da die Ansicht von Oben gezeichnet, nur im Durchschnitt als kleiner Kreis sichtbar ist. R und R' sind zwei festgemachte hohle Multiplikator-Rollen, in denen die Pole der Magnete mit gehörigem Spielraum frei beweglich stecken, und durch welche Rollen nach Willkür ein Strom geleitet werden kann. Ist dieses nun in



einem Sinne, das heißt, nach einer Richtung der Fall, so werden durch die bekannte Wirkung des Stromes auf den Magnet, die Pole S und N aus den Rollen herausgestoßen, gleichzeitig die Pole N und S hineingezogen, der ganze magnetische Kreis dreht sich um A und der vorne angebrachte Zeiger Z gelangt im Kreisbogen, z. B. nach L. Wirkt der Strom im anderen Sinne, d. h. nach der anderen Richtung, so geschieht mit den verschiedenen Polpaaren das umgekehrte und Z kommt nach V zu stehen. Wirkt gar kein Strom, so führt ein von außen oben auf dem Kästchen angebrachter, zweckmäßig gelegter Magnetstab a b die Magnete NKS und NZS und also auch den Zeiger Z in ihre mittlere Ruhelage. Die nebenstehende Zeichnung zeigt im Aufriß das Kästchen mit dem Zeiger und zwei rechts und links angebrachte Glocken, an welche der Zeiger bei seiner Bewegung anschlägt. Die zwei Glocken sind so eingerichtet, daß die eine den Grundton, die andere die Quinte giebt, wodurch man die Zeichen auch durch das Gehör unterscheiden kann. — Dieser Telegraph wird dadurch zu einem akustisch-elektrischen, was insofern von Vortheil ist, als beim Tage das erste Anschlagen zugleich die Aufmerksamkeit des Manipulationsbeamten erregt, ohne daß der Wecker abzulaufen braucht. An der Ase ist eine kleine in der Zeichnung nicht angegebene Vorrichtung angebracht, an welcher sich die Ase bei der Bewegung ein wenig reibt, wodurch die Schwingungen gleichmäßig werden und wodurch der Magnetfranz, so wie der Strom aufhört, augenblicklich zur Ruhe kommt. Ueber den beiden Glocken steht links das Zeichen L,

rechts das Zeichen V auf der vorderen Seite (dem Zifferblatte) des Zeichenapparates eingegraben; eine willkürliche Wahl! die aber darum zweckmäßig ist, weil die Zeichen sich grell von einander unterscheiden und den Manipulationsbeamten, der die gegebenen Zeichen aufschreiben muß, vor leichter Irrung bewahren.

Von den vier Drähten, welche von dem Kästchen weggehen, stehen zwei mit der Leitung der Telegraphenlinie in Verbindung, zwei führen zum Tastbrette, einer Vorrichtung, durch welche der Zeichenapparat mit der Batterie zusammenhängt. Dieses Tastbrett, welches wir später genauer beschreiben werden, hat zwei Hebelarme, welche gerade so gehandhabt werden, wie die Tasten eines Claviers. Das Tastbrett stellt, wenn nicht telegraphirt wird, die ununterbrochene metallische Leitung des ganzen Leitungsdrahtes zwischen allen Stationen her und schließt an jeder Station die Batterien mit ihren Poldrähten aus der Leitung aus, so wie man aber eine Taste niederdrückt, wird an der Station, wo dieses geschieht, die Batterie in den Schließungskreis der Leitung gezogen, und je nachdem man die linke oder rechte Taste in Anspruch genommen, wird der Magnetkranz mit dem Zeiger an allen Seiten nach links oder rechts abgelenkt, wo auf das erste Zeichen alle Manipulations-Beamten ihren Apparat beobachten. Als zweites Zeichen folgt nun das sogenannte Stationszeichen, d. h. eine verabredete Zeichenfolge für jeden Stationsplatz, so daß man den Beamten, welcher sich auf der fraglichen Station befindet, dadurch zum Gegenzeichen auffordert, was dieser zum Beweise, daß er auf seinem Plage sei, z. B. durch Wiederholung des Stationszeichens, sogleich zurückgibt. Nun beginnt die telegraphische Depesche.

Die Ablenkung des Magnets findet so lange statt, als die Taste niedergedrückt wird, d. h. so lange der Strom dauert. Man hat es daher in seiner Macht, die Zeichen als kurze oder lange nach der fernen Station zu senden, und combinirt man diese Zeichen in allen möglichen verschiedenen Ordnungen, so stehen dem Gebrauche in der Combination zu dreien 64, in der Combination zu vieren 256 Zeichen zu Gebote. Beim Aufschreiben der langen Zeichen pflegt man das lange Zeichen links mit 2, das lange Zeichen rechts mit 6 zu bezeichnen. Man hat natürlich für die gangbarsten Begriffe einzelne Zeichen, z. B. Verstanden, Nichtverstanden, Schneller telegraphiren, Langsamer telegraphiren etc.

Im telegraphischen Bureau ist das Ganze der Aufstellung auf folgende Weise angeordnet: Die Leitungsdrähte gehen vom Fenster zu einem Tische oder eigentlich tischartigen Kasten; auf der Tischplatte befindet sich mitten das Tastbrett vor dem Telegraphirenden, ungefähr in gleicher Höhe mit dem Gesichte, der Zeichenapparat mit seinen Glocken, rechts daran der Wecker, welcher durch einen langen Hebel mit dem Apparate in Verbindung gesetzt werden kann; in der Ecke des Tisches ist noch ein kleines Apparatchen befestigt, auf welchem man einen Zeiger über einem Gradbogen beweglich erblickt. Es ist dieser kleine Apparat ein Moderator oder Rheostat, d. h. eine Zusammenstellung von 12 Holzspulen, um welche feiner übersponnener Draht gewickelt ist. Jede Station hat ihre Batterie, welche mit allen ihren Elementen für die ganze Telegraphenlinie ausreicht. Da aber der Telegraph bestimmte, ruhig gemessene Bewegungen machen soll, so trifft es sich, daß manchmal der Strom zu stark ist, z. B. wenn die Batterie neu zusammengestellt ist; man braucht dann nur den Zeiger des Moderators auf 2, 3, 4 . . . zu stellen, so ist

die Einrichtung getroffen, daß der Strom nebst dem gesamten Leitungsdrahte auch noch zwei 2, 3, 4 . . . solcher Drahtspulen durchlaufen muß, wodurch man nach Bedürfniß seine Stärke regeln kann. Wenn gleich der Moderator in manchen Fällen zweckmäßig sein kann, so ist er doch nicht absolut nothwendig und man kann sich auch ohne ihn behelfen. — Alexander Bain ist Uhrmacher in Edinburg und sein Telegraph wurde zuerst zwischen Edinburg und Glasgow in Thätigkeit gesetzt. Eine nähere Beschreibung der damaligen Einrichtung findet man in Dingley's Journal, Bd. Cl. S. 8.

Fardely's Telegraph. Der erste elektrische Telegraph auf der Lauenburgbahn, nach Müller und Fardely, war, wenn ich nicht irre, im Monat August 1846 im Gange. Müller besorgte die elektrische Leitung, Fardely die Ausführung der Zeichenapparate. Das System ist jenes nach Wheatstone, wo ein Zeiger sich auf dem Zifferblatte einer Uhr im Kreise bewegt und auf den telegraphirten Buchstaben hinweist. Auch hat er mit einem transportablen Apparat, welcher auf dem Zuge mitgeführt werden soll, Versuche gemacht, um unterwegs, z. B. bei dem Falle eines Unglücks, von jeder beliebigen dazu schnell vorbereiteten Stelle längs der Linie nach verschiedenen Stationen hin Nachricht geben und auch solche empfangen zu können. Es zeigte sich, daß auch dies mit Erfolg in Ausführung gebracht werden kann. Gintl in Wien hat ebenfalls einen ambulanten Telegraphen construiert, und bei Feldmanövern und in den indisch-englischen Kriegen hat sich die Zweckmäßigkeit solcher tragbaren Telegraphen bereits erprobt.

Lighton machte den Vorschlag, als Zeichenapparat eine Art Goldblatt-Elektrometer zu construiren, welcher Vorschlag, wegen der leichten Zerreibbarkeit eines solchen Goldblättchens, nicht praktisch zu sein scheint. Man denke sich einen Glaszylinder oben und unten mit einem Deckel verschlossen, welche beiden Deckel durch ein um eine viertel Umdrehung gewundenes lose hängendes Goldblatt verbunden sind. Außen befinden sich die Pole eines Magnets. Wie nun der Strom durch das Goldblatt geht, so wird dieses in Folge der Einwirkung des Magnets nach der jeweiligen Richtung des Stromes hin und her bewegt; und dient so als telegraphischer Zeichengeber. Das Winden des Goldblattes hat bloß den Zweck, es wenigstens mit einem Theil seiner breiteren Fläche nach allen Seiten hin sichtbar zu machen.

Smith's Zeichengeber besteht aus einem Bleizylinder, über welchen ein Kattunstreifen weggezogen wird. Dieser Streifen ist an einer durch ein Uhrwerk gedrehten Walze befestigt, wie bei Morse, und geht, bevor er auf die Walze aufläuft, durch einen Trog, der mit eisenblausaurem Kali, unter Zusatz von einigen Tropfen Schwefelsäure, gefüllt ist. Ueber der Bleiwalze befindet sich das Ende des einen Leitungsdrahtes, während der andere Leitungsdraht mit der Bleiwalze selbst in Verbindung steht. Wird nun der elektrische Strom durch den Draht geführt, und befindet sich zwischen der Bleiwalze und dem erwähnten Drahtende das Kattunband, so wird der durch dieses Band gehende Strom die Flüssigkeit zerlegen, mit welcher das Band getränkt ist, und es wird das entstandene Berlinerblau als ein Strich oder als ein Punkt erscheinen, je nach der Dauer der Einwirkung des Stromes, so wie beim Telegraphen von Morse.

Smith wendet eine 40-elementige Zinkkohlenbatterie an, wozu er die Kohlenplatten oder Kohlenzylinder aus drei Theilen Holzkohlenpulver, 2 Theilen

Kokspulver und 1 Th. Weizenmehl anfertigt, indem er diese Materialien wohl mischt, die Platten formt, sie trocknet und in einem heissigen Ziegel mit durchlöcherter Deckel roth glüht. Die Flüssigkeit in den Zellen ist Wasser.

Vain hat ganz denselben Vorschlag wie Smith gemacht, nur daß er die Unterbrechung und Herstellung des Stromes durch eine in dickes Papier geschnittene telegraphische Depeschen-Patrone bewerkstelligt. Ueber der Bleimalze spielt nämlich hebelartig das eine Ende des Leitungsdrahtes, und zwar auf der einen Station, welche die Zeichen empfängt, über dem Rattunstreifen, auf der anderen, welche sie giebt, über der Patrone. Fällt der Draht in den Ausschnitt der Patrone, so ist der Strom hergestellt, gleitet er über das Papier, so ist er unterbrochen. Dies giebt die Combinationen. Auch Wintl hat später einen elektrochemischen Apparat angegeben, dem eben beschriebenen ganz ähnlich, nur daß er noch den Vorschlag macht, als elektrochemische Substanz Jodkaliumlösung und Stärkekleister anzuwenden.

Steinheil's späteres System. Steinheil hat in einer Sitzung des polytechnischen Vereins in Baiern folgende Mittheilung über seinen späteren galvanischen Telegraphen gemacht. Derselbe wurde in Folge höheren Befehls von der General-Administration der königl. bairischen Eisenbahnen im Zusammenwirken mit Steinheil zwischen München und Manhofen errichtet. Er sollte sowohl zur Controle des Dienstes auf der Eisenbahn als zur Förderung telegraphischer Nachrichten dienen. Der Oberconducteur des Wagenzuges soll von jedem Bahnwärterhaus Mittheilungen nach den beiden Endstationen machen können. Diesen Anforderungen wurde nach Steinheil's neuem Systeme in folgender Art entsprochen: Eine Kupferdrahtleitung von 108000 Fuß Länge, von 200 F. zu 200 Fuß auf Stützen ruhend, durch Kautschukfirniß isolirt, führte vom Bahnhofe in München längst der Eisenbahn nach Manhofen. Die beiden Enden der Drahtleitung waren mit großen Metallblechen versehen, welche bis in das Horizontalwasser versenkt wurden. Die Metallplatte in München war ein Kupferblech von 120 Quadratf. Fläche, in Manhofen ein Zinkblech von derselben Größe. Durch diese Einrichtung mußte beständig ein galvanischer Strom durch die Kette gehen (d. h. durch die Drahtleitung und den Erdboden), der stark genug war, um Zeichen durch Ablenkung von eingeschalteten Magneten oder durch Elektromagnete zu geben. Wenn sehr kräftige Zeichen verlangt werden sollten, ist es zweckmäßig diesen Erdstrom durch die Wirkung einer kleinen Volta'schen Batterie zu verstärken; dies geschah auch in Baiern. An jedem Bahnwärterhüttchen war eine Klappe in der Kette angebracht, welche durch Anziehen einer Schnur die Kette und damit den galvanischen Strom unterbrach. Auf der Endstation waren außer diesen Klappen noch Elektromagnete angebracht, welche einen Anker trugen, der als Hammer auf eine Glocke schlug, und zugleich auf einer in zwei Stunden einmal sich umdrehenden horizontalen Papierscheibe einen Punkt zeichnete, sobald der Strom unterbrochen wurde. In dieser Art ist die Wirkung des Telegraphen doppelt; er schreibt und wird zugleich gehört. Der Schreibapparat dient zur Controle der Fahrten auf der Eisenbahn, der akustische zu den telegraphischen Mittheilungen.

Die Controle der Fahrt bestand darin, daß jeder Bahnwächter, während der Zug passirte, die Klappe öffnete, daher den Strom unterbrach, weshalb die Anker der Elektromagnete an beiden Stationen abfielen und einen Punkt auf

den beiden sich drehenden Scheiben verzeichneten. Da aber die Scheiben von Zeitminute zu Zeitminute getheilt waren, so bestimmte der Abstand je zweier solcher Punkte die Geschwindigkeit, mit welcher der Zug von einem Bahnwärter zum anderen gelangte. Auf den Zwischenstationen wurde die Kette während der Zeit des Anhaltens des Zuges unterbrochen. Dabei wurde nun auf den Papierscheiben ein Strich verzeichnet, welcher durch seine Länge die Aufenthaltszeit angab; fehlte ein Punkt, so war der Bahnwärter nicht an seinem Posten. In solcher Art controlirte der Telegraph gleichzeitig an beiden Endstationen: 1) die Gegenwart des Dienstpersonals; 2) die Geschwindigkeit des Zuges in jedem Augenblick; 3) den Ort, wo sich der Zug befand oder den zurückgelegten Weg; 4) die Zeit des Aufenthaltes auf allen Zwischenstationen; und dieses doppelt gedruckte Document mit der Nummer der Fahrt beschrieben diente als actenmäßiger Beleg. Beim Bedürfniß einer Hüfslocomotive während der Fahrt stieg der Oberconducateur an dem nächsten Bahnwärterhäuschen ab und gab das verabredete Zeichen, so daß auf der Stelle die gewünschte Hülfse herbeigerufen war. Diese akustischen Mittheilungen konnten stattfinden, ohne die Controle des Zuges zu unterbrechen. Sie bestanden in Gruppen von Glockenschlägen, deren Combinationen bestimmte Deutungen gegeben worden sind, und in ganz ähnlicher Art diente auch der Telegraph zu anderweitigen Mittheilungen, wobei das von Steinheil schon vor 10 Jahren gegebene früher angeführte System der Bezeichnung hier Anwendung fand, indem statt des tieferen Tones als zweites Zeichen ein rascher Doppelschlag auf die Glocke bewirkt wurde. Dieser Telegraph war frei von dem Uebelstande anderer bestehender, welche während der Gewitter von selbst Zeichen gaben, da hier die Zeichen nur durch Unterbrechung hervorgebracht wurden. Er bietet den wesentlichen Vortheil, daß von jedem Punkte der Bahn aus nach den Endstationen Mittheilungen gemacht werden können, und ist der Einfachheit seiner Construction wegen weniger Zerrungen und Fehlern unterworfen als die mit zusammengesetzten Bewegungen wirkenden (Centralblatt 1847, S. 1066). — Ich weiß nicht, ob dieser Telegraph noch in Anwendung ist, wahrscheinlich ist auch er durch den Morse'schen verdrängt, allein seine Durchführung ist wie Alles von Steinheil sehr sinnreich, daher seine Construction näher beschrieben wurde.

Die hier angeführten verschiedenen Vorschläge fallen so ziemlich in die erste Zeit der elektrischen Telegraphie; alle späteren, wie Pilze auftauchenden Vorschläge laufen größtentheils auf eine und dieselbe Sache hinaus, daher wir sie nicht mehr speciell anführen, sondern auf die am Ende des Aufsatzes angeführten Quellen verweisen. Die Basis des elektrischen Telegraphirens in den letzten Jahren ist nicht wesentlich verändert worden, und so genial einzelne Erfindungen auch an und für sich sind, so haben sie doch, wie z. B. die später beschriebene Doppelcorrespondenz, nicht durchgegriffen.

Bezüglich der Zeiger- oder Buchstaben-Telegraphie erwähnen wir hier die zweckmäßig eingerichteten Telegraphen von Siemens und Halske, die auf sehr vielen preussischen Telegraphenlinien eingeführt sind. Bei denselben werden durch wechselndes Öffnen und Schließen einer galvanischen Kette die Anker zweier Elektromagnete auf zweckmäßige Weise in Thätigkeit gesetzt, so daß dadurch ein gezahntes Rädchen mit einem an seiner Axe befestigten Zeiger, der sich über einer Buchstabenscheibe befindet, in Drehung geräth. Jede Unterbrechung des Stromes führt den Zeiger um einen Buchstaben weiter.

**Commutator, Tastbret, Morse'scher Schlüssel und Pär-
apparat.** Nach den hier beschriebenen Vorrichtungen der elektrischen Telegraphie
wird an einer Station eine elektrische Batterie, an der anderen der Zeichenapparat
vorausgesetzt, man kann also nur von jener nach dieser telegraphiren. Es ist aber
nöthig eine telegraphische Nachricht auch in umgekehrter Richtung senden zu können,
daher an jeder Station eine Batterie und ein Zeichenapparat sich befinden müssen,
und da man dennoch nur zwei Leitungsdrähte zu ziehen wünscht, so hat man sich
eine Vorrichtung, den Commutator, erdacht, welcher dazu dient, die metallische
Verbindung so herzustellen, wie man sie gerade braucht. Dieser Commutator
kann nun auf verschiedene Weise eingerichtet sein. Die beifolgende Zeichnung soll
zur Erklärung der Sache überhaupt dienen, ohne dadurch etwa stillschweigend aus-
zudrücken, daß diese Einrichtung die beste sei. A und D sind die Batterien, B
und C die Zeichenapparate an den beiden Stationen und die mit 1, 2, 3, 4, 5,
6, 7, 8 bezeichneten kleinen Kreise sind Quecksilbernäpfchen, in welche die ab-
Einien gezeichneten Drähte mit umgebogenen Enden eintauchen. So wie die



Zeichnung gemacht ist, stehen die beiden Zeichen-
apparate mit einander in metallischer Verbindung,
was immer der Fall sein muß, wenn nicht tele-
graphirt wird. Die Batterien sind, da 3 und 5
mit der Leitung nicht communiciren, außer Thätig-
keit. Will nun A telegraphiren, so hebt man die
Verbindung-1,2 auf und stellt sie auf 3,4, wo-
durch der in A erregte Strom durch den Zeichen-
apparat an der anderen Station C geht und dieser
in Bewegung setzt. Ist A mit dem Telegraphiren
fertig, so hebt er die Verbindung 3,4 wieder auf
und stellt die von 1,2 wieder her. Nun muß, um
zu antworten, D die Verbindung 7,8 trennen und
selbe auf 5,6 übertragen, wo er nun mit seiner
Batterie auf den Zeichenapparat B wirken kann; ist
er fertig, so muß wieder alles auf den ersten Stand
zurückgeführt werden. Diese Manipulation genügt,
wenn bloß ein Strom erregt und wieder aufgehoben
werden soll, wie beim Morse'schen Telegraphen;
ist aber auch noch ein Stromwechsel, wie bei Ab-
lenkungen nöthig, so müssen auch noch die Drähte
1,3 oder 5,7, je nachdem die eine oder die andere
Station telegraphirt, mit einander verwechselt wer-
den können. Diente die Erde als zweiter Leitungs-

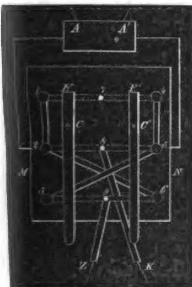
draht, so würde der Draht in a und b abgebrochen und an diesen Stellen in
Metallplatten ausgehend in die Erde versenkt werden müssen; die übrigen Verhält-
nisse bleiben sich gleich.

Der Commutator für den Bain'schen Apparat bildet den soge-
nannten, schon früher obenhin erwähnten Tastapparat, und er besteht aus einem
Bretchen und zwei hebelartigen befestigten Tasten, deren jede an einem Ende mit
einem Gewichte beschwert ist, so zwar, daß dieses Ende durch das Gewicht immer
nach abwärts gedrückt wird; so wie man aber am Griffblatt der Tasten, also am

anderem Ende die Taste hinunter drückt, hebt man im Gegensatz das beschwerte Ende in die Höhe. Diese Bewegung der Tasten theilt sich Metallstreifen mit, welche an den Tasten befestigt sind, und die mit der im Bretchen eingelassenen Drahtleitung zweckmäßig correspondiren. Durch die mittelbare Hebung und Senkung dieser Metallstreifen bleibt entweder bloß der Zeichenapparat in den Stromkreis der anderen Station eingeschlossen und dies ist der Fall, wenn die zwei Tasten dem Zuge der Gewichte überlassen sind, oder man drückt die eine Taste nieder, wodurch man die eigene Batterie in den Wirkungskreis zieht und wodurch der Strom nach einer Richtung die Leitung durchfließt. Drückt man die andere Taste nieder, so bekommt der Strom die verkehrte Richtung. Eine Zeichnung soll das einigermaßen deutlicher machen, wiewohl das Tastbret immer ein schwieriger Gegenstand der Beschreibung ist, wenn man sich kurz fassen soll.

In beistehender Figur ist MN das Tastbret, F und F' sind die Tasten, mit denen drei von der Mitte aus federartig gebogene Metallstreifen sich zum Brete herabsenken, wenn die respectiven Tastenden sich nach abwärts bewegen und sich davon

entfernen, wenn der entgegengesetzte Fall eintritt. Die Tasten haben ihren Drehungspunkt in C und C' drei bis vier Linien über dem Bretchen, während die nicht punktirten Streifen im Bretchen eingelassen sind und dort, wo sie kreuzend über einander weglassen, einander nicht berühren dürfen. Wenn nun ein Metallstreifen durch die Tasten niedergedrückt wird, kommt sein Ende mit der Drahtleitung in Berührung und die metallische Leitung ist hergestellt. Geht sich die Feder mit dem Taster, so ist die Leitung an dieser Stelle unterbrochen. AA' ist der Zeichenapparat, von dem die Drähte zur nächsten Station fortlaufen; Z und K sind Drähte, welche zum + und — Pol der Batterie führen. Wir haben nun folgende drei Fälle zu betrachten: 1) für den Stand der Ruhe sind die beschwerten Enden der Tasten F und F' gesenkt und die Leitung von der anderen Station



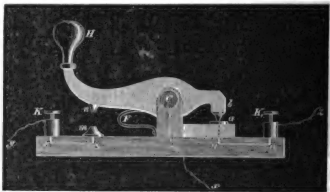
ist durch den metallischen Weg A, 2, 1, 7, 4, 5, A' hergestellt; A ist neben dem Brete mit 2 und A' mit 5 durch die rechts und links zwei Mal rechtwinkelig gebogenen Drähte in metallischer Verbindung. Man kann daher von der anderen Station Nachrichten empfangen; 2) die linke Taste werde vorne allein niedergedrückt, so kommt die Batterie in den Schließungskreis, die Leitung öffnet sich bei 1', schließt sich bei 2 und 3, und der Strom geht den Weg Z, 9, 3, 5, A' zur nächsten Station durch A, 2, 8 nach K zurück; 3) die rechte Taste werde vorne allein gesenkt, so wird abermals die Batterie in den Kreis gezogen, die Leitung öffnet sich bei 4, schließt sich bei 5 und 6, und der Strom geht folgenden, dem früheren

entgegengesetzten Weg Z, 9, 6, 2, A zur nächsten Station durch A' 5, 8 nach K zurück.

Im Falle 2) wird also die Nadel nach einer Seite, im Falle 3) nach der anderen Seite abgelenkt. Petrina beschreibt das Laßbret in seiner Broschüre so, daß es von Mechanikern leicht darnach ausgeführt werden kann, nur hat er die Verbesserung mit den Gewichten an einem Ende der Laßen noch nicht gekannt, indem er noch Erwähnung von kleinen Spiralfedern macht, die aber nach häufigem Gebrauche öfter ihren Dienst versagen.

Bei jedem nicht registirenden Telegraphen muß ferner ein Lärmapparat angebracht sein (wie früher schon in einem Falle erwähnt), d. i. eine Lärmglocke, welche durch ein Uhrwerk in Thätigkeit gesetzt wird, wenn die Auslösung des Sperrhebels durch den elektrischen Strom bewirkt wurde, worauf der Manipulations-Beamte zum Zeichenapparat sich hinstellt und dessen Bewegungen aufzeichnet. Auch bei selbst registirenden Telegraphen kann ein solcher Apparat angebracht sein, um bei Wiederholung der Depesche oder Rücksendung der Antwort keine Zeit zu versäumen. Bei Morse's Zeichengeber macht der Gang des Uhrwerks und des Ankers Lärm genug, um die Aufmerksamkeit zu erregen; übrigens kann für die Nachtzeit auch eine solche Lärmglocke mit diesem Telegraphen verbunden werden.

Der Morse'sche Schlüssel. Es ist dies ein kleiner Apparat, der in die elektrische Kette beim Morse'schen Telegraphen eingeschaltet wird. Er dient dazu, um die Kette geschlossen zu erhalten oder zu öffnen und wieder zu schließen, je nachdem man eine Depesche empfängt oder sie absendet. Die beistehende Figur veranschaulicht diesen Schlüssel. Auf einem Brett, dem Laßbret, befindet sich ein gabelsförmiges Zapfenlager, in welchem sich um die Axe C ein Hebel H C b befindet.



der Handhabe H auf und ab bewegen läßt. Im Ruhezustand wird dieser Hebel durch die Feder F auf die Metallplatte a niedergedrückt, so daß durch b und a die metallische Leitung hergestellt ist, wenn von der anderen Station der Strom durch Z K, o, o a b C x zum Relais des Schreibapparates geht und von da wieder zur ersten Station zurückkehrt. Will man selbst eine Depesche absenden, so drückt man mit der Handhabe H den Hebel nieder, a und b kommen außer metallischen

Contact, m und n, zwei abgestumpfte Metallspitzen, berühren sich, und der Strom der Localbatterie geht durch y k s s, m n C x durch das Relais der eigenen Station und von da durch den langen Leitungsdraht zur anderen, wo er dort den geschlossenen Schlüssel passiert und um das Relais des dortigen Schreibapparates herum wieder zur ersten Station zurückkehrt. K und K, sind, wie aus der Zeichnung hervorgeht, Klemmschrauben. Wenn man von einer Station eine Depesche absendet, so kann man entweder seinen eigenen Apparat zur Controle mitschreiben lassen, oder man kann ihn auch absperrern.

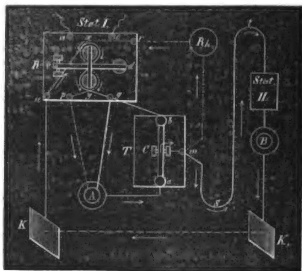
Elektrische Uhren. Es sind diese Apparate gewissermaßen Zeittelegraphen und ihre Einrichtung eine mannichfaltige. Es genügt hier das Princip anzugeben. An irgend einer Hauptstation befindet sich eine Normaluhr, deren Räderwerk auf irgend eine Weise mit dem Drahte einer Batterie in Verbindung steht, welche bei geschlossener Leitung ihren Strom durch alle Zifferblätter der verschiedenen Stationen leitet. An den Stationszifferblättern befindet sich ein Elektromagnet ähnlich demjenigen, wie er bei den Relais angewendet wird. Wenn nun bei geschlossenem Strom der Elektromagnet den Hebel anzieht, so wird durch diese einen Augenblick andauernde mechanische Bewegung der Minutenzeiger der Stationsuhr durch eine eigene Vorrichtung um eine Minute vorwärts geschoben. Findet das Schließen der Kette durch die Normaluhr an der Hauptstation, die natürlich aufgezogen werden muß, regelmäßig alle Minuten statt, so pflanzt sich diese Bewegung auf die anderen Stationsuhren fort und diese müssen ebenfalls nach minutenlangen Intervallen die richtige Zeit anzeigen.

Das Gegensprechen oder die Doppelcorrespondenz. Wenn der elektrische Strom von einer telegraphirenden Station abgesendet wird und durch das Relais der anderen geht, so kann natürlicherweise diese zweite Station nur die Depesche empfangen, nicht aber zu gleicher Zeit auch eine absenden, weil die Ströme einander entgegenlaufen und so sich wechselseitig neutralisiren oder verwirren würden. Gintl, Edlund, Siemens, Starke haben sich jedoch mit dem Problem des Gegensprechens beschäftigt und Gintl erhubt das Verdienst, der Erste gewesen zu sein, der die Möglichkeit desselben nachwies, wofür ihm auch bei der Pariser Ausstellung die Auszeichnung der großen goldenen Medaille zu Theil wurde. Es ist diese Erfindung, wie die Praxis herausgestellt hat, eine mehr theoretisch wichtige und wissenschaftlich interessante, als für die Praxis selbst gewinnreiche, indem die Erfahrung eben nachweist, daß äußerst aufmerksame und gewandte Telegraphisten nothwendig sind, um die Sache mit Erfolg durchzuführen.

Man versteht also nach den eben gegebenen Andeutungen unter dem **Gegensprechen oder der Doppelcorrespondenz** das gleichzeitige Absenden und Empfangen zweier verschiedener telegraphischer Depeschen von zwei Stationen in entgegengesetzter Richtung, so zwar, daß man z. B. gleichzeitig von Wien nach Prag einen Courrierbericht, und von Prag nach Wien auf demselben Draht eine Privatnachricht telegraphiren kann. Um die Möglichkeit dieser Durchföhrung einzusehen, müssen wir zuerst einige physikalische Thatsachen, die Eigenschaften der elektrischen Ströme betreffend, ins Gedächtniß rufen. Diese Thatsachen lauten: Zwei gleiche und in einem und demselben Drahte nach entgegengesetzter Richtung gehende Ströme neutralisiren sich; bei bedeutender ungleichen Strömen überwiegt der stärkere nach seiner Richtung. Ferner findet dieses Paralyßiren der Wirkung nach denselben

Geschehen auch dann statt, wenn zwei Ströme in zwei verschiedenen Drähten, die um weiches Eisen entgegengesetzt gewunden sind, nach entgegengesetzter Richtung laufen. Das Eisen wird dann bei Strömen von gleicher Stärke oder Kraftwirkung gar nicht magnetisch, und erst wenn der eine Strom an Stärke überwiegt, wird das Eisen wieder magnetisch.

Auf diese Thatsachen gründet sich die Möglichkeit des Gegensprechens. Wenn man eine Depesche abschendet, so muß das Stations-Relais in der Kette sein, weil sonst der Strom nicht geschlossen ist; das Relais telegraphirt also die eigene Depesche mit, auch wenn man den Schreibapparat aushängt; dieses muß nun verhindert werden; die Wirkung des eigenen Stromes muß nämlich durch einen Gegenstrom von außen um das Relais aufgehoben werden, damit dieses in Ruhe bleibt, wenn von der anderen Station aus ein Strom durchgeschendet wird. Man hat dies durch eine zweite Batterie (Ausgleichsbatterie) zu erreichen gesucht, die haarscharf gleichzeitig mit der Stationsbatterie geschlossen und geöffnet wird, die aber ihren Strom um das Relais herum in entgegengesetzter Richtung zu senden hat. Diese entgegengesetzten Windungen müssen durch ihre Zahl und Drahtdicke gerade einen solchen Leitungswiderstand haben, daß sie den Stationsstrom paralysiren. Dieses gleichzeitige Öffnen und Schließen beider Batterien war sehr schwierig, und da kam man denn auf die Idee, welche, wenn ich nicht irre, von Siemens herrührt, nur eine starke Batterie anzuwenden, ihren Strom aber vom Lastbret aus so zu theilen, daß der eine Theil zur fremden Station geht, der andere Theil aber in entgegengesetzten Windungen um das Relais herum sich bewegt, und so den rückkehrenden Strom paralysirt. In der beistehenden Figur, deren Zeichnung ich der freundlichen Mittheilung des Hrn. Prof. Geßler verdanke, ist das Gegensprechen mit der Stromtheilung veranschaulicht.



A ist die Stationsbatterie der Station I., B die Stationsbatterie der Station II., R das Relais der Station I., cd der Hebel dieses Relais mit dem Anker, xy die Rollen mit den Drahtwindungen des Relais. Diese Rollen sind so eingerichtet, daß die Doppeldrähte in entgegengesetzten Windungen um den Eisenkern herumlaufen. Die mit ausgezogener Linie bezeichnete Strombahn ist innen, die mit punktirter Linie gezeichnete außen angebracht. T das Tastbret oder das Bret mit dem Morse'schen Schlüssel, ab der Hebelarm des Schlüssels, C seine Axe; wenn a niedergedrückt wird, ist b geöffnet und umgekehrt. K K, sind die Kupferplatten, welche die Erdleitung herstellen und der Weg zwischen beiden ist der ideale Erdstrom. Rh ist ein Rheostat, um die Stärke des Gegenstromes bis zur Paralyse des Hauptstromes reguliren zu können, b, m, r, p, q, s, t, u sind bloße Verbindungsstellen des Drahtes am Relais und am Tastbret, um den Stromweg dadurch markiren zu können. Die Richtungen der Pfeile zeigen die Richtungen des Stromes an.

Und nun ist die Erklärung einfach. Wenn der Morse'sche Schlüssel oder der Taster in a niedergedrückt wird, so geht der Strom der Batterie A durch a, C, m, s, t nach Station II., und durch B, K, K, u, x, y, q zur Batterie A zurück. In m aber ist noch eine zweite Leitung angebracht, es theilt sich dort also der Strom und ein Theil desselben geht durch die punktirte Stromlinie von m durch Rh, r in entgegengesetzten Windungen um die Rollen xy durch p zur Batterie A. Die Stellung des Rheostaten, die Anzahl der Windungen und Drahtdicken müssen so gewählt werden, daß sie, wie gesagt, den zurückkehrenden eigenen Hauptstrom paralyse. Das Relais R wird also durch den eigenen Strom gar nicht oder besser gesagt, durch Wirkungen afficirt, die sich paralyse und also nicht zur Erscheinung kommen. Wird nun auf der Station II. der Schlüssel bei dem dortigen a niedergedrückt, so geht der zweite Strom nach entgegengesetzter Richtung der Pfeile durch s, m, C, a, durch die batterie A als Leiter, und durch q, y, x, u, K, K, wieder zur batterie der Station II. zurück. Auf diesem Wege paralyse er in den Rollen xy den Hauptstrom der batterie A, weil er den Draht gerade in entgegengesetzter Richtung durchläuft, dadurch wird der Hauptstrom der batterie aufgehoben, und der Zweigstrom der Ausgleichung hat nichts mehr zu paralyse, wird auch nicht mehr paralyse und seine Wirkung kommt dadurch zur Erscheinung, daß der Anker des Relais so lange angezogen bleibt, als von der Station II. ein Strom herüber gesendet wird.

Der Strom der Station II. wird sich bei m allerdings auch spalten, allein seine Richtung fällt mit der Richtung des Ausgleichungszweiges der ersten Station zusammen, und vermag also sich mit der Wirkung desselben zu summiren. Dies ist der Vorgang zur Erklärung der Möglichkeit des Gegensprechens bei der gezeichneten Einrichtung. Wintl und besonders Redden, letzterer in Dingler's Journal Bd. CXXXVIII. S. 28 und 100, haben ihre hierher gehörigen Erfahrungen näher beschrieben; nur fehlt diesen Untersuchungen noch jene Lehrbuchprägnanz, die man von einem nachgewiesenen Naturgesetze fordert.

Das Telegraphiren von einer Station zu gleicher Zeit nach zwei anderen, aber in derselben Richtung, ist wieder eine andere Aufgabe, die bereits auch gelöst ist, deren Beschreibung wir aber hier übergeben und nur auf die Quelle verweisen. Es wurde dieser Gegenstand von Dr. Stark in Wien abgehandelt, worüber man polytechnisches Centralblatt 1856 S. 402 nachsehen mag.

Das Doppelsprechen sowohl in einer, als auch nach entgegengesetzter Richtung hat, wie gesagt, keine großen Schwierigkeiten, und das Einschalten des Leitungswiderstandes R_h und das Instandhalten desselben nach den Variationen der Ströme in Bezug auf ihre Intensität erfordert große Aufmerksamkeit, wozu man vielleicht mehr Zeit braucht als durch die Proceßur gewonnen ist, wenn gleich eingeübte Praktiker, wie Gintl und Andere, über diese Schwierigkeiten leichter hinüber kommen, als die Theorie glauben läßt.

Rücksichtlich der Einwirkung der atmosphärischen Electricität auf die Leitung der elektrischen Telegraphen ist der Artikel Gewitter, Bd. III. S. 592 ff. zu vergleichen.

Würdigung der elektrischen Telegraphen. Es war am 3. Februar 1837, als das Repräsentantenhaus der Vereinigten Staaten die Entschleßung faßte, der Staatssecretär solle ihm in nächster Sitzung über die Nützlichkeit der Einführung von Telegraphen Bericht erstatten. Dieser Bericht wurde im December 1837 dahin abgelegt, daß die Errichtung von Telegraphenlinien dem allgemeinen Verkehr, so wie der Regierung von gleich großem Vortheile sein werde. In Folge dessen wurden weitere Erörterungen angestellt und besonders auch genauere Nachrichten über das Morse'sche System eingezogen. Darauf ging im März 1843 eine Bill durch den Congreß, wornach 30000 Dollars zu Versuchen im Großen mit dem Morse'schen Telegraphen bewilligt wurden. — 1843 wurde auch in Deutschland zum ersten Male beim Eisenbahnbetrieb ein elektrischer Telegraph angewendet, und zwar auf der Eisenbahn von Aachen zur belgischen Grenze. — Morse faßt die Vorzüge des elektrischen Telegraphen, namentlich des seinen, in folgende Worte zusammen: Er ist zu jeder Zeit, zu jeder Stunde des Tages und der Nacht brauchbar, das Wetter sei wie es wolle; er theilt in derselben Zeit mehr als hundert Mal so viel Nachrichten mit, als der gewöhnliche in die Ferne Zeichengebende; er ist wohlfeiler herzustellen und mit geringeren Kosten zu erhalten, und kann zur Mittheilung von Privatnachrichten gegen Gebühren verwendet werden, die die Kosten vollkommen decken, ja sogar eine Rente abwerfen.

Alle diese Vorzüge sind erwiesen; so z. B. war der Semaphor-Telegraph von London nach Portsmouth 72 englische Meilen in 3 Jahren 323 Tage, also beinahe 1 Jahr des schlechten Wetters wegen, nicht brauchbar, und die Regierung bezahlte dafür jährlich 34000 Fl. G.-M. In Frankreich umfaßten die sämtlichen älteren Telegraphenlinien 1474 engl. Meilen mit 519 Stationen, welche der Regierung über 1000000 Franken kosteten. Diese Telegraphenlinien sind: von Paris nach Calais 152 engl. Meilen, nach Straßburg 255, nach Bresl 325, nach Toulon 317, nach Bayonne 425. — Berechnet man nach den in Nordamerika ausgeführten elektrischen Telegraphen die Kosten für dieselbe Ausdehnung, so stellen sie sich um $\frac{1}{2}$ billiger heraus.

Diese und andere Vorzüge haben bewirkt, daß gegenwärtig ein Telegraphen-Netz von Tausenden von Meilen über die Erde sich verbreitet hat, und es ist diese Thatsache die beste Würdigung der elektrischen Telegraphen.

Literatur. Die meisten technischen Zeitschriften, besonders die Zeitschrift des Telegraphenvereins, Dingler's Journal und das polytechn. Centralblatt, liefern Berichte über alle neuen hierher gehörigen Erfindungen. Ferner ist zu empfehlen: Moigno traité de la télégraphie. — Schellen, der elektro-magne-

tische Telegraph; Braunschweig. — Hirsch, Handbuch der elektrischen Telegraphie, Wien. — Buerbaum, die elektro-magnetische Telegraphie. — Werke, der praktische Telegraphist. — Galle, Katechismus der elektrischen Telegraphie etc.

Tellur (von tellus, Erde), ein einfacher Körper, dessen Stellung im System noch nicht mit gehöriger Sicherheit erkannt worden ist. Meistens rechnet man neuerdings das Tellur zu den Metallen und bringt es mit dem Zinn, Antimon u. s. w. in eine Gruppe, weil es sich selbst bei hoher Temperatur noch mit Sauerstoff verbindet, das Wasser in der Rothglühhitze, aber nicht bei Gegenwart von starken Säuren, zersetzt und weil seine Verbindungen sich als Säuren verhalten. Andere wiederum, wie z. B. Regnault *), stellen das Tellur zu den Nichtmetallen, weil es in seinem chemischen Verhalten große Aehnlichkeit mit dem Schwefel und Selen hat. Chemisches Zeichen Te. Aequivalent: 801,76 (O = 100) oder 64,24 (H = 1).

Das Tellur kommt überhaupt nur selten vor. Man findet es gediegen, meistens aber in Verbindung mit anderen Metallen (Gold, Silber, Wismuth, Blei). Die Haupterze sind: Weistellur (Tellurgold), Schrifterz (Tellurfilbergold ($\text{Ag Te} + 2 \text{Au Te}$), Tellurfilber, Tellurblei, Tetradymit (Tellurwismuth), Tellurglanz (Blättererz). Der Hauptfundort ist Siebenbürgen; aber auch am Altai und in Brasilien kommen Tellurerze vor. Kürzlich ist als neuer Fundort der Tellurerze noch Gluvannacounty in Virginien und Cumberland hinzugetreten. Nach v. Kobell **) erkennt man die Tellurerze leichter durch ihr Verhalten gegen Schwefelsäure als durch das Löthrohr. Man begießt das gepulverte Erz in einem gewöhnlichen Reagensglase etwa 1 Zoll hoch mit concentrirter Schwefelsäure und erwärmt über der Weingeistlampe. Gleich bei der ersten Einwirkung der Wärme färbt sich die Säure roth, bei stärkerem Erhitzen aber verschwindet die Farbe wieder. Setzt man zur rothen Flüssigkeit Wasser, so bildet sich ein schwärzlich grauer Niederschlag von Tellur, während die Flüssigkeit farblos wird. Der Saggagit oder das Blättererz verhält sich insofern anders, als man eine trübe bräunliche Flüssigkeit erhält, welche, nachdem man sie einige Zeit ruhig stehen gelassen hat, eine Hyazinthfarbe zeigt. Die Selenerze färben, ebenso behandelt, die Schwefelsäure nicht. — Erst neuerdings ist auf Veranlassung von Wöhler das in Siebenbürgen mit Golderzen reichlich vorkommende Tellur auf Verordnung der österreichischen Regierung dem Studium der Chemiker zugänglich geworden.

In früherer Zeit kannte man die chemische Natur des Gediegentellur nicht; man nannte es aurum paradoxum oder metallum problematicum. Die erste Untersuchung stellte Müller von Reichenstein, ein österreichischer Bergbeamter 1782 an. Er stellte die eigenthümliche Natur des Tellur fest, da er fand, daß es sich anders verhielt wie Wismuth und Antimon, mit dem es äußerlich Aehnlichkeit hat. Später (1798) bestätigte Klaproth diese Wahrnehmungen und verlieh dem neuen Metall den Namen Tellur. Die ausführlichsten Untersuchungen verdanken wir Berzelius.

Nach Berzelius erhält man das Tellur aus dem Tellurwismuth, das ziemlich häufig vorkommt und aus 36 Proc. Tellur neben 60 Proc. Wismuth und 4 Proc.

*) Cours élémentaire de Chimie. Troisième édition, Paris 1851. T. I. pag. 244.

**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXXI. S. 181.

Schwefel besteht, wenn man das Erz mit dem gleichen Gewicht kohlensaurem Natron und Oel mengt und bis zum Weißglühen erhitzt. Es bilden sich hierbei Tellurnatrium und Schwefelnatrium, die durch Wasser ausgezogen werden, während metallisches Wismuth zurückbleibt. Setzt man die Lösung der Luft aus, so scheidet sich das Tellur ab.

Löwe hat neuerdings Tellur im Großen dargestellt aus den Siebenbürger Golbergen *). Nach verschiedenen mehr oder weniger mißglückten Versuchen, auf trockenem Wege durch Schmelzen mit schwarzem Fluß, oder Pottasche oder Soda unter Zusatz von Eisen oder Bleiglätte das Tellur in größeren Mengen abzuscheiden, bediente sich Löwe zuletzt des Verfahrens, welches zur Affinirung der edlen Metalle mit Schwefelsäure eingeschlagen zu werden pflegt. Das Material bestand in diesem Blättererz, theils als Korn, theils als Staub. Die mit dem Blättererz zugleich auftretenden Mineralien sind gewöhnlich Quarz, Kalkspat, Manganspat, Schwefel und Arsenikfies, Fahlerz, Bournonit, Zink und Mangansblende, Bleiglanz, grünes Arsenik und andere. Das Erz enthält 5,6 bis 6 Proc. Tellur. Zunächst wurden die kohlensauen Verbindungen durch Salzsäure entfernt, dann das Erz portionenweise in Schwefelsäure eingetragen, diese nach und nach bis zum Kochen erhitzt und damit so lange fortgeführt, bis nur Schwefelsäuredämpfe entwichen und der Bodensatz eine gelblich weiße Farbe angenommen hatte. Die Masse wurde dann mit salzsäurehaltigem Wasser verdünnt, um einerseits die Auflösung des sich abscheidenden Telluroxydes, andererseits die Fällung des gelösten Silbers zu bewirken. Die Flüssigkeit wurde dann abgezogen und daraus das Tellur durch Zink gefällt, während der Bodensatz auf Gold verarbeitet wurde.

Durch das Zink werden jedoch auch andere Metalle (Antimon, Arsenik, Kupfer und Blei) gefällt, daher ist die schweflige Säure als Fällungsmittel vorzuziehen. Das durch letztere niedergeschlagene Tellur wurde in einem Strome von trockenem Wasserstoffgas aus einem Porzellanschiffchen in einer Porzellanröhre der Destillation unterworfen. Zuerst entwich hierbei Wasser, dann ein graues Sublimat und endlich Tellurwasserstoff. Das meiste Tellur befand sich zersmolzen im untersten Theile der Röhre. — Aus einem Centner der Erze wurden 4 Pfd. Rohstellur mit einem Kostenaufwande von 40 Fl. C. W. gewonnen. Nach dieser Methode wird in Oesterreich das Tellur im Großen dargestellt und den Chemikern zum Selbstkostenpreise überlassen.

Das Tellur ist silberweiß, besitzt einen starken Metallglanz und ist sehr spröde, so daß es sich leicht pulvern läßt. Im feinzertheilten Zustande, besonders aus Auflösungen abgeschieden, besitzt das Tellur eine braune Farbe. Es schmilzt in der dunkeln Röthgluth, leichter als Antimon, aber schwerer als Blei. Beim Erkalten nimmt es ein krystallinisches Gefüge an, das besonders am Bruch erkannt werden kann. Die Grundform ist ein Rhomboeder mit einem Winkel von $86^{\circ} 57'$. Verstärkt man die Spitze, so verflüchtigt sich das Tellur. Die Destillation geht leichter von statten, wenn man das Tellur in einer Porzellanröhre erhitzt und fortwährend trocknes Wasserstoffgas darüber leitet. Beim Erhitzen an der Luft verbrennt das Tellur mit bläulicher Flamme zu tellurichter Säure und verbreitet hierbei einen eigenthümlichen Geruch, der sich schwer charakterisiren läßt. Andere setzen diesen Geruch auf Rechnung des Selen, das häufig mit dem Tellur zusammen vorkommt.

*) Journal f. prakt. Chem. Bd. LX. S. 163.

Das spec. Gewicht ist sehr bedeutend = 6,26, wodurch das Tellur sich gleichfalls den eigentlichen Metallen nähert. Die Electricität leitet es nur schwach. Ein Tellurstäbchen mit Wolle gerieben und einem mit Harzelectricität geladenen Glottblattelektrometer genähert, bewirkt eine sehr geringe Annäherung der Glottblättchen. Durch Reiben mit Seide wird keine sichtbare Wirkung erreicht. Nach Zantedeschi gehört das Tellur zu den diamagnetischen Körpern. In concentrirter Schwefelsäure löst es sich mit purpurrother Farbe; durch Wasser wird es aus der Lösung als feines Pulver niedergeschlagen. Durch Salpetersäure wird es zu telluriger Säure oxydirt; in Chlornasserstoffsäure ist es nicht löslich, wohl aber in Königswasser. Gegen Chlor, Iod und Brom, sowie gegen die Metalle verhält sich das Tellur dem Schwefel ähnlich.

Da jetzt, wie bereits angeführt, das Tellur zugänglicher geworden ist, so ließ Wöhler, in der Erwartung demselben vielleicht eine Verwendung als Arzneimittel zu verschaffen, durch Haase Versuche über die physiologische Wirkung des Tellur auf den lebenden Organismus anstellen^{*)}. Bis jetzt war darüber außer Gmelin's Versuchen wenig bekannt. Nur Gölreuter führt an^{**)}, daß das Tellur in gewissen Verbindungen ein stärkeres Emeticum als der Brechweinstein sei.

Mit dem Sauerstoff geht das Tellur zwei Verbindungen ein: die tellurichte Säure, früher Telluroxyd genannt (Te O^2) und die Tellursäure (Te O^3). Im wasserfreien Zustande erhält man die erstere aus der Lösung des Tellur mit Salpetersäure durch freiwilliges Abscheidenlassen in weißen krystallinischen Körnern, die in Säuren, Ammoniak und in den Lösungen der kohlensauren Alkalien schwer, in denen von Kali- und Natronhydrat jedoch leicht löslich sind. Sie besitzen nach Mitscherlich die Form als Octaeder. Größere Krystalle konnte Oppenheim nach der von Berzelius angegebenen Methode, durch Zersetzung von zweifach Chlortellur mit wenig Wasser, nicht erhalten. — Da die tellurichte Säure auch in Wasser sehr schwer löslich ist, so röthet sie das Lackmuspapier erst nach einiger Zeit; aus demselben Grunde nimmt man auch anfangs keinen Geschmack wahr; später jedoch schmeckt sie unangenehm metallisch. Sie schmilzt leicht und erstarrt krystallinisch; bei Zutritt der Luft verflüchtigt sie sich zwar, aber doch viel schwerer als das Metall. Durch Wasserstoffgas wird sie nicht reducirt, wohl aber durch Kohle. Verdünnt man die salpetersaure Auflösung mit Wasser, so erhält man wasserhaltige tellurichte Säure, die nicht krystallinisch, aber leichter auflöslich ist.

Mit den Basen bildet die tellurichte Säure eine große Reihe von Salzen, die meistens in der Hitze schmelzen und krystallinisch erstarren. Die Verbindungen mit den Alkalien sind im Wasser leicht, die mit den Erden und Metallen entweder gar nicht oder sehr schwer, jedoch größtentheils in Chlornasserstoffsäure löslich. Ist kein großer Ueberschuß der letzteren Säure vorhanden, so wird beim Verdünnen mit Wasser die tellurichte Säure aus der Lösung niedergeschlagen.

Die Tellursäure (Te O^3) wurde 1832 von Berzelius entdeckt. Sie bildet sich beim Schmelzen von tellurichter Säure mit Salpeter oder wenn man in eine Lösung der tellurichten Säure in Aeqkali Chlorgas leitet. Eine bessere Ausbeute erhält man nach Oppenheim^{***)}, wenn man tellurige Säure mit einem Aequivalent Chlorsaurem Kali und einem Aequivalent Kalihydrat zusammenschmilzt, die Lösung

*) Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXVI. S. 208.

**) Schweigger's Journ. Bd. LXII. S. 216.

—) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXXI. S. 272.

mit Chlorbaryum fällt und den tellursauren Baryt durch Schwefelsäure zersetzt. Durch Umkrystallisiren erhält man die Tellursäure frei von Schwefelsäure. Den Rest der in Schwefelsäure aufgelösten Tellursäure fällt man durch Alkohol heraus. — Die Tellursäure bildet große, farblose Krystalle, die 3 Äquivalente Wasser enthalten und dem monoclinalen System angehören. Meistens sind es Zwillinge und dem Gyps scheinbar isomorph. Bei einer nicht sehr hohen Temperatur verlieren sie einen Theil des Krystallwassers, aber nicht die Auflöslichkeit im Wasser und wässrigem Alkohol. Das letztere tritt erst bei stärkerem Erhitzen ein, wobei sie eine pomeranzengelbe Farbe annehmen. Dann ist die Tellursäure auch unlöslich in Wasser, Chlorwasserstoffsäure, Salpetersäure und Kalihydrat. Bei der Glühbirge verliert die Tellursäure Sauerstoff und verwandelt sich in tellurichte Säure. Die Tellursäure röthet zwar das Lackmuspapier, schmeckt jedoch nicht sauer, sondern nur unangenehm metallisch. Aus der wässrigen Lösung wird die Tellursäure nicht durch Säuren gefällt. Mit den Basen bildet die Tellursäure theils lösliche, theils unlösliche Salze. Durch Erhitzen verlieren die ersteren die Löslichkeit. Beim Glühen werden die tellursauren Salze gelb oder braun und geben Sauerstoff ab. — Eine eigenthümliche Art von Doppelsalzen bildet sich durch Zufügung von freier Tellursäure zu den Nitraten einiger schweren Metalle (Silberoxyd, Quecksilberoxydul und Bleioxyd).

Eine dritte Verbindung des Tellur mit Sauerstoff, das Tellursuboxyd (TeO) ist zwar nicht dargestellt, jedoch wird die Existenz derselben vermuthet, weil sich eine analoge Chlorverbindung leicht darstellen läßt.

Tellurwasserstoff (TeH) entwickelt sich, wenn man eine Auflösung der Telluralkalien mit Säuren versetzt. Es ist ein farbloses Gas, das unangenehm riecht, Lackmus röthet, vom Wasser absorbiert wird und angezündet mit bläulicher Flamme zu Wasser und tellurichter Säure verbrennt. Die Auflösung des Tellurwasserstoffgases in Wasser besitzt eine bläurothe Farbe, zerfällt sich aber sehr leicht an der Luft. Gegen Metalloxydsalze verhält sich das Tellurwasserstoffgas ähnlich wie das Schwefelwasserstoffgas.

Leitet man über erhitztes Tellur trocknes Chlorgas, so bilden sich, je nachdem ersteres oder letzteres im Ueberschuß vorhanden ist, entweder Tellurchlorür (TeCl) oder Tellurchlorid (TeCl_2). Ersteres bildet eine schwarze, nicht krystallinische Masse, die aus der Luft Feuchtigkeit aufnimmt. Durch Wasser wird das Chlorür in tellurichte Säure zersetzt, wobei sich auch metallisches Tellur abscheidet. Das Chlorid ist weiß, krystallinisch und schmelzbar; es zieht aus der Luft gleichfalls Feuchtigkeit an. Durch Wasser wird es in tellurichte Säure zersetzt. Mit dem Schwefel sind zwei Verbindungen des Tellur bekannt, die den Sauerstoffverbindungen entsprechen. Auch sind krystallinische Doppelverbindungen von Zweifachschwefeltellur mit Schwefelalkalien dargestellt. — Verbindungen des Tellur mit Metallen sind von Berzelius theilweise durch Zusammenschmelzen in bestimmten Proportionen, theilweise durch Tellurwasserstoff erhalten worden.

Da die tellursauren Salze durch Glühen in tellurichtsäure Salze verwandelt werden, so ist das Verhalten beider vor dem Löthrohr dasselbe. Sie werden in der innern Flamme auf Kohle sehr leicht reducirt; das Metall verflüchtigt sich und beschlägt die Kohle mit einem weißen Rauch von tellurichter Säure. Diese verschwindet durch die Reductionsflamme mit einem blaugrünen Schein und unterscheidet sich dadurch von dem Beschlage der antimonichten Säure, der die Flamme nur bläulich färbt. Bei der Prüfung auf nassem Wege lassen sich die tellurichtsäuren Salze leicht

von den tellurfauren Salzen unterscheiden. Erhitzt man die letzteren mit Chlornasserstoffsäure, so entwickelt sich Chlor; verdünnt man die farblose Lösung mit Wasser, so werden die tellurfauren Salze nicht wie die tellurichsauren Salze gefällt. Schwefelwasserstoff bewirkt in der sauren Auflösung der tellurichsauren Salze sofort einen braunen Niederschlag von Schwefeltellur; durch Schwefelammonium entsteht gleichfalls ein brauner Niederschlag, der aber in einem Ueberschuß des Fällungsmittels wieder auflöslich ist. Die tellurichte Säure verhält sich also dem Zinnorydul ähnlich, doch ist an eine Verwechselung beider nicht leicht zu denken, da sich beide gegen eine Goldauflösung ganz verschieden verhalten. W. B.

Temperatur eines Körpers nennen wir seinen jedesmaligen Wärmezustand mit Rücksicht auf dessen Intensität oder auch die Größe seiner Erwärmung. Das Instrument, mit dessen Hülfe diese Bestimmung geschieht, ist das Thermometer (s. Art. Thermometer). Wir haben hier nur eine Reihe von Artikeln zu nennen, in welchen über besonders wichtige oder interessante Fälle bezüglich der Temperatur das Erforderliche zu finden ist.

Zunächst ist auf den Art. Wärme zu verweisen. Ueber die Temperatur der Atmosphäre enthalten das Nöthige die Artikel: Klima (Bd. IV. S. 261) und Isothermen (Bd. IV. S. 149); im letzten Artikel (S. 161) findet sich auch das auf die Abnahme der Temperatur der Luft mit zunehmender Höhe Bezügliche, worüber überdies im Art. Atmosphäre Bd. I. S. 480 gehandelt ist. Ueber die Temperatur der Erdoberfläche bieten die Artikel Klima und Isothermen ebenfalls das Erforderliche; im Art. Erde ist (Bd. II., S. 914 ff.) über die Temperatur der Erdrinde und des Meeres gehandelt. Manches mit der Temperatur in Beziehung Stehende enthalten die Artikel: Regen, Winde, Nebel, Meer u. a.

Wegen der Bedeutung des Begriffes Temperatur in der Akustik verweisen wir auf Art. Ton. H. G.

Chalium nennt Owen ein neues Metall, dessen Oxyd, die Thalerde, er 1852 in einem neuen grünlichen und deshalb Thalit (von *Thaleiv*, *Thalleiv*, grünen) genannten Mineral, welches im Tropp-Mandelstein in der Nähe des Dartmoor River an der Nordküste des oberen See's in Nordamerika vorkommt, zu 10 bis 12 Proc. gefunden haben will*). Das Metall selbst hat Owen nicht dargestellt, sondern nur die Thalerde; doch ist die Beschreibung der Operationen, durch welche er die Erde in chemisch reinem Zustande erhalten haben will, sehr unklar. Deshalb begnügen wir uns mit dieser einfachen Notiz, zumal seitdem von diesem neuen Körper nie wieder die Rede gewesen ist. W. B.

Thau heißt der bekannte atmosphärische Niederschlag, welcher sich namentlich im Sommer an der Oberfläche des Bodens, vorzüglich an Pflanzen während der Nacht in Gestalt von Tropfen zeigt. Alle Erscheinungen des Thaus sind zuerst von Wells**) vollständig erklärt worden. Bei ruhigen und heiteren Nächten erkälten

*) Sillim. americ. Journ. [2] Vol. XIII. pag. 420. Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVI. S. 377.

**) An essay on Dew and several appearances connected with it by Will. Char. Wells. Sec. edit. Lond. 1815. W. G. Wells Versuch über den Thau und einige damit verbundene Erscheinungen, übers. von J. C. Horner. Zürich 1821. Journ. de Phys. T. LXXX. p. 80. 85. 102. 171. 330.

alle auf der Erdoberfläche zerstreuten Körper durch ihre Ausstrahlung gegen den Himmel; diese Abkühlung ist aber ungleich, weil sie von dem Wärmeausstrahlungsvermögen der verschiedenen Körper, von ihrem Wärmeleitungsvermögen und ihrem Verhältniß zu benachbarten Gegenständen abhängt. Ist nun die Luft mit Wasserdampfe geschwängert, so wird dieser an denjenigen Gegenständen, welche eine geringere Temperatur besitzen, als die der Luft, in Gestalt von Wassertropfen sich niederschlagen, und zwar um so stärker, je größer jene Temperaturdifferenz ist. Um die Erscheinungen des Thaus im Einzelnen erklären zu können, genügt es, alle diejenigen Umstände aufzusuchen, welche die Erkältung der Körper und die nächtliche Ausstrahlung modificiren können. Um den Einfluß der Lage auf die nächtliche Abkühlung kennen zu lernen, nehmen wir an, daß wir mitten in einer weiten Ebene eine Art Zelt aus leichten Wänden oder Rahmen, jede eine Toise im Geviert haltend, errichtet hätten; diese Wände können z. B. mit Leinwand oder auch mit Papier überzogen sein, und vier vertical gestellt sein, während die fünfte in horizontaler Lage als Decke dient. Ein in die Mitte des Zeltes auf den Boden gestellter Körper wird nach allen Seiten Wärme ausstrahlen; aber diese Wärmestrahlen werden von den Wänden aufgefangen und auf den Körper zurückgeworfen. Er wird daher nur sehr langsam erkalten. Nimmt man den obern Verschlag hinweg, so wird der Körper die Aussicht nach dem Zenith haben: er wird gegen den Himmel ausstrahlen, und seine Abkühlung wird viel schneller erfolgen. Nimmt man noch eine der Seitenwände hinweg, so ist der Körper noch einem großen Theil des Himmels ausgesetzt, und seine Abkühlung erfolgt noch schneller; je mehr man ihn entblößt, desto schneller wird er auch erkalten. Mauern, Gebäude, Bäume, Hügel haben nun auf die nächtliche Ausstrahlung einen ähnlichen Einfluß wie in dem eben angeführten Falle die Verschlage. Man muß also die Lage eines Körpers gegen seine Umgebungen berücksichtigen, wenn man im Voraus beurtheilen will, ob derselbe mehr oder weniger erkalten wird, als wenn er sich in irgend einer andern Lage befände. Aber auch die natürliche Beschaffenheit der Körper ist von Einfluß. Die Oberflächen, welche ein großes Ausstrahlungsvermögen haben, erkalten rascher als andere; auch die Dichte der Körper, ihr Leitungsvermögen und die Neigung ihrer Oberflächen sind Umstände, welche die Schnelligkeit der Abkühlung modificiren. Die Bewegung der Luft ist ein Hinderniß der Thaubildung, weil die Luft, wenn sie sich rasch an den Gegenständen der Erdoberfläche erneuert, diesen einen Theil der durch die Ausstrahlung verlorenen Wärme zurückgibt. Daher ist auch bei einem heftigen Winde die Temperatur aller Körper merklich dieselbe, wie die Temperatur der Luft. Bei bedecktem Himmel wirkt das Gewölk ähnlich wie in dem oben angeführten Beispiele der Verschlag, es hindert die freie Ausstrahlung der Körper nach dem Himmel. Man hat längst schon bemerkt, daß bedeckte Nächte stets minder kalt als heitere sind. Wilson fand, daß ein Thermometer, welches während einer abwechselnd heitern und wolkigen Nacht der freien Luft ausgesetzt ist, sich stets erhebt, wenn die Luft sich verdunkelt, und fällt, wenn die Wolken sich zerstreuen. Nebel haben einen noch viel merklicheren Einfluß, als die Wolken, weil die ausstrahlende Wärme, welche bei gewöhnlicher Temperatur von den Körpern ausgeht, eine nicht völlig durchsichtige Luft nicht zu durchdringen vermag.

Nach der angegebenen Erklärung entsteht also der Thau an der Oberfläche der Körper, die durch Ausstrahlung unter die Temperatur der umgebenden Luft erkalten sind. Gersten und Dufay behaupteten, der Thau steige vielmehr in die

Höhe^{*)}. Hierfür scheint auf den ersten Anblick folgende Beobachtung zu sprechen. Setzt man eine Glasglocke auf den Boden, so beethauet dieselbe an ihrer inneren Wandung oft so stark, daß das Wasser in Tropfen herabläuft. Die Ursache der Erscheinung ist aber die, daß die Glocke durch Strahlung sehr schnell erkaltet, und daher den fortwährend vom Boden aufsteigenden Wasserdampf bei der Berührung sogleich condensirt. Der Boden selbst kann nach dem Vorhergehenden um so weniger erkalten, da die Glocke seine Ausstrahlung verhindert.

Zur Messung der Menge des Thaus bedient man sich der Thaumesser oder Drosometer (i. d. Art.).

Der Thau zeigt sich in größerer Menge nur in heiteren windstillen Nächten. Diese Behauptung hat schon Aristoteles^{**)} aufgestellt; dagegen glaubte Muschenbroek^{***)}, daß sich in Holland der Thau vorzüglich dann bilde, wenn ein niedriger Nebel den Boden bedeckte, jedoch der Zusatz, daß alle Körper ohne Unterschied befeuchtet werden, zeigt, daß die hier entstandenen Tropfen vom Nebel herühren. Allen Erfahrungen von Wells zuwider behauptet Brieur, daß stets ein frischer Wind ein Erforderniß der Thaubildung sei; nur zuweilen scheint ein schwacher Luftzug die Bildung des Thaus zu begünstigen. Wenn der Himmel bewölkt ist und kein Wind weht, oder der Himmel beim Winde heiter ist, dann zeigen sich nur einige Spuren von Thau, nie aber bei trübem und windigem Wetter. Selbst wenn sich bei heiterem Himmel schon Thau niedergeschlagen hatte, so verschwindet dieser in kurzer Zeit, wenn windiges, trübes Wetter folgt, was auch bereits Wilson beim Reif beobachtet hatte. Wenn dagegen heiteres, windstilles Wetter dem trüben folgt, dann schlägt sich der Thau ungewöhnlich reichlich nieder. — Der Thau schlägt sich vorzugsweise an freistehenden Körpern nieder, denen ein beträchtliches Wärmeausstrahlungsvermögen zukommt. Unter sonst gleichen Umständen schlägt sich daher der Thau auf verschiedenen Körpern in sehr verschiedener Menge nieder. Auf Pflanzen ist er weit reichlicher, als auf dem festen Erdboden; lockerer Kiebhoden wird feuchter, als festgetretenes Erdreich; Glas wird weit leichter befeuchtet, als die Metalle, wie dieses bereits Muschenbroek bemerkt und Dufay bestätigt hatte. Es geschieht wohl, daß absichtlich befeuchtete Metalle in Tagen trocken werden, wo andere Körper Thau aufnehmen. Diese Trägheit der Metalle, Thau niederzuschlagen, wird sogar andern Körpern mitgetheilt, wenn diese auf jene gelegt werden; ein Stück Wolle auf einem Metallspiegel liegend, wird weit weniger feucht, als auf einem Stück Glas. Wenn aber die Stelle des Metalls auf dem Boden, besonders auf Rasen, öfters gewechselt wird, so schlägt sich der Thau leicht nieder. Dieser Widerstand, welchen die Metalle dem Niederschlage entgegenzusetzen scheinen, ist nicht bei allen gleich groß: so werden Plätina, Eisen, Stahl, Zink weit früher beethaut, als Gold, Silber, Kupfer und Zinn. Man könnte allerdings auf den ersten Anblick vermuthen, daß die Metalle eine ungleiche chemische Anziehung zum Wasserdampfe hätten, wie dieses früher Lavoisier und Saussure geglaubt hatten; aber Wells überzeugte sich durch directe Versuche mit Metallplatten, welche er dem Wasserdampfe aussetzte, daß dieses nicht der Fall sei.

^{*)} Dissert. Roris decidui errorem antiquum et vulgarem per obs. et exp. nova excutiens. Francof. 1733. Mém. de Paris 1736. p. 382.

^{**) Meteorol. L. I. Cap. X. De mundo C. II.}

^{***)} Introductio T. II. p. 2344.

Es geht dieses auch daraus hervor, daß selbst der mechanische Zustand der Körper hierbei eine bedeutende Rolle spielt. So werden Holzspäne weit leichter feucht, als ein festes Stück Holz. Das größere oder geringere Wärmeausstrahlungsvermögen gibt hier den Ausschlag.

Ältere Physiker glaubten, daß der Thau sich vorzüglich am Abend und am Morgen bilde; die Versuche von Wells zeigen, daß dieses nicht richtig sei. Zu welcher Stunde der Nacht auch ein Körper ins Freie gebracht werden möge, stets schlägt sich auf ihm Thau nieder, ja es scheint, als ob die Größe des Niederschlags nach Mitternacht noch größer sei, als vor dieser Zeit. An beschatteten Orten scheint er sich schon am Nachmittage zu bilden, wenn die Wärme der Luft anfängt zu sinken; wenigstens fand Wells, daß das Gras schon einige Stunden vor dem Untergange der Sonne feucht war, obgleich noch keine Tropfen auf demselben zu bemerken waren. — Nicht allenthalben auf der Erde bildet sich der Thau in gleicher Menge^{*)}. Am häufigsten findet man ihn in den Küstengegenden warmer Klimate. In Arabien (offenbar Küste) ist der Thau so reichlich, daß die Kleider der Reisenden davon durchnäßt werden; ebenso fällt in Suakim am rothen Meere in jeder Nacht viel Thau; bei Tor am Golf von Suez ist der lehmige Boden vom gefallenem Thau in den Morgenstunden ganz schlüpfrig, und in Alexandrien werden die Kleider und Terrassen so nass, als ob es geregnet hätte. Eben so häufig ist derselbe am persischen Meerbusen, in Chili, und die Schiffer erkennen die Annäherung an die Küste Coromandel dadurch, daß sich Thau niederschlägt. Dagegen fehlt der Thau fast gänzlich auf wasserlosen Ebenen im Innern der Continente, so in Brasilien in den Provinzen Bahia, Goyaz, Pernambuco und Ceara; von den Bergen Gilan und Mazanderan bis zum persischen Meerbusen und von den Gegenden an den Alpenseen Van und Urmia bis Kaschmir zeigt sich im Sommer keine Spur von Thau; auf dem Wege von Aleppo nach Orfab fand B u l i n g h a m Ende Mai und Anfang Juni keinen Thau. Ebendies gilt von der Wüste Rubiens und der Sahara; so wie man aber die Nähe des Sees Ischad erreicht, so werden die Kleider ganz durchnäßt. Einen solchen Einfluß von Binnenwassern erkennt man auch in andern Gegenden, so thaut es selbst in Persien in der Nähe feuchter Niederungen sehr schwach, eben so in den Ebenen westlich vom Euphrat am Flusse selbst, in Aegypten am Nile. In den westlichen Gegenden Pennsylvaniens thaut es in der Nähe der Seen sehr stark. Dagegen zeigt sich der Thau auf den Korallen-Inseln der Südsee selten oder gar nicht, und auch auf dem Ocean wird wegen der großen Wärmecapacität des Wassers und der mehr gleichförmigen Temperatur des Meeres nur selten eine größere Menge von Thau gebildet.

W e l l s o n i ^{**)} hat in neuerer Zeit die Wells'sche Thautheorie geprüft und dieselbe im Wesentlichen richtig befunden. Der Thau ist die Folge einer unmittelbaren Condensation des in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampfes an den durch freie Strahlung erkälteten Theilen der Körper an der Erdoberfläche. Hiernach geht der Thaubildung stets eine Abkühlung der Körper, an welchen er sich bildet, voraus, so daß dann der in der umgebenden wärmeren Luft enthaltene Wasserdampf durch Berührung mit der kälteren Fläche der betreffenden Körper auf diese nieder-

^{*)} R ä m p, Lehrbuch der Meteorologie. Th. I. S. 355.

^{**)} Compt. rend. XXIV p. 531. 641; XXV p. 499; Ann. de Chim. et Phys. sér. III. T. XXI. p. 145; XXII. p. 129. 467; Pogg. Ann. Bd. LXXI. S. 416; Bd. LXXIII. S. 467.

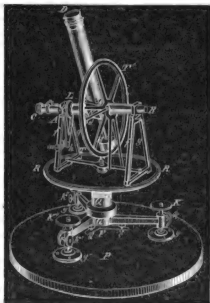
geschlagen wird. Der Thau fällt daher im strengen Sinne auch nicht nieder, und eben so wenig steigt derselbe auf. Nach Wells und Wilson kann die Temperatur an der Oberfläche eines Körpers unter den günstigsten Umständen bis zu 8° oder 10° unter die Temperatur der Luft sinken. Melloni fand aber nie größere Temperaturdifferenzen als etwa 1 bis 2° und schreibt jene größeren Werthe dem Umstand zu, daß die Thermometer in sehr ungleicher Höhe über dem Boden angebracht worden wären. Diese Temperaturdifferenz erscheint nach Melloni, der sich dabei auf Beobachtungen von Scoresby und Barry in hohen nördlichen Breiten stützte, unabhängig von der eigenthümlichen Temperatur der ausstrahlenden Körper und der umgebenden Luft. Die Abkühlung wird aber sehr begünstigt durch eine zwischen krausen Hüllen ruhig verharrende Luftschicht. Dies ergab sich an Thermometern, welche ungleich dicht mit Wolle umwickelt waren. Je lockerer die Umwicklung war, desto schneller erfolgte die Abkühlung, indem die zwischen den Wollflocken liegende, erkältete Luftschicht einen weiter erkaltenden Einfluß übt. Melloni schließt nun hieraus auf die ähnlichen Verhältnisse der dichten Vegetation am Erdboden, die gar keiner so großen Temperaturdifferenz bezüglich der umgebenden Luft bedürfen, um den Sättigungszustand der letzteren herbeizuführen und damit eine Thaubildung zu bewirken.

Theilbarkeit ist die allgemeine Eigenschaft der Körper, nach welcher jeder derselben, von welcher Größe und natürlichen Beschaffenheit er auch sein mag, in Theile zerlegt zu werden vermag, die sich von einander und von dem Ganzen nur in Bezug auf Größe unterscheiden. In letzter Beziehung unterscheidet sich die (mechanische) Theilbarkeit von der (chemischen) Zerlegbarkeit, nach welcher letzteren die zusammengefügten Stoffe in Theile geschieden werden können, welche sowohl unter sich als vom Ganzen ihrer Natur nach unterschieden sind. In der Anwendung findet die Theilbarkeit eine Begrenzung an der Begrenztheit der Sinne des Menschen, welche das Allzukleine nicht mehr wahrzunehmen vermögen. Als Beispiele außerordentlich kleiner Zertheilung führt man die starkriechenden Körper an, welche durch seine Theilchen die Nase afficiren, die dehnbaren Metalle, die leuchtenden und färbenden Stoffe. Aus einem Gran Gold schlagen die Goldarbeiter Plättchen von 36 Quadrat Zoll Oberfläche; die Drahtzieher vergolden eine silberne Stange von 22 Zoll Länge und $1\frac{1}{4}$ Linie Dicke mit einer Unze Goldes und ziehen sie dann zu einem Drahte aus, der 97 französische Weilen lang ist; wird er noch dazu platt gedrückt, so erlangt er gar eine Länge von 110 Weilen, und ist doch allenthalben übergoldet, aber mit Plättchen, deren Dicke so gering ist, daß nach Plac's Berechnung 14 Millionen erst die Dicke eines Zolls geben, während eben so viele Blätter gemeinen Druckpapiers $\frac{3}{4}$ englische Weilen einnehmen. Platin läßt sich durch ein eigenes von Wollaston angegebenes Verfahren zu Draht von $\frac{1}{30000}$ Zoll Dicke ausziehen, den man durch Glühen sichtbar machen kann. Um einen solchen Draht zu erhalten, gießt man um einen dicken Platindrath einen Cylinder von Silber, den man zu einem dünnen Draht auszieht, worauf man das Silber durch Salpetersäure auflöst. Ein kleines Stück Moschus erfüllt ein großes Zimmer mit seinem Geruche, ohne daß die verflüchtigten Theile durchs Gewicht erkannt werden können. Man nimmt an, daß ein Gran 320 Quadrillionen Theile gebe, deren jeder den Geruchssinn zu afficiren vermag. Mit Phosphor kann man eine Menge leuchtender Buchstaben an eine Wand schreiben, ohne ihn merklich abzureiben. Ein Gran Carmin färbt 20 Pfund Wasser merklich roth und jedes als roth bemerkbare

Theilchen hat nur die Größe von $\frac{1}{30000000}$ Zoll. L *Wenck* zählte in einem Tropfen Stodschmilch von der Größe eines Sandkorns 2 Millionen Thierchen. Man kennt mikroskopische Thiere, deren Bau ziemlich zusammengesetzt ist, die also auch Organe haben, von deren Kleinheit wir uns schon keine anschauliche Vorstellung mehr bilden können. Und diese Organe bestehen wieder aus noch kleineren Theilchen.

Auch manche Producte des menschlichen Kunstfleißes befunden die außerordentlich weit gehende Theilbarkeit der Materie. So wird erzählt, daß man in Manchester aus einem Pfund Baumwolle einen Faden von 170 englischen (34 deutschen) Meilen Länge spann, und *Neven* soll Gewebe verfertigt haben, welche 65536 Maschen im Raume eines Quadratzolles enthielten*). Andere Beispiele bieten in dieser Beziehung noch mehr**).

Obgleich nun die wirkliche Theilbarkeit der Materie weit die Grenzen sinnlicher Wahrnehmung überschreitet, und auch das Geschäft des Theilens in Gedanken ohn Ende fortgesetzt werden kann, so darf man doch nicht behaupten, daß der Gedanke einer unendlichen Theilbarkeit dem Wesen der Materie entsprechend sei. Diese unendliche Theilbarkeit erscheint eher als ein müßiges Gedankenspiel, das auf die Natur, auf das Reale im Raume nur als eine Fiction übertragen werden darf. S. d. Art. *Materie*.



Theodolit. Man bedient sich desselben vorzugsweise zu geodätischen Messungen, dann auch zu astronomischen Messungen und nicht selten auch zu gewissen optischen Untersuchungen. Man sieht in nebenstehender Figur die drei starken Fußschrauben *K, K', K''* eines dreiarmligen Fußgestells, dessen Arme an ihren Enden, wo sie die Fußschrauben aufnehmen, in zwei Theile gespalten sind, und diese Theile können durch eigene Seitenschrauben *k, k', k''* einander genähert werden, um jede Wankung der Fußschrauben zu verhindern. Die letzten Schrauben laufen an ihren unteren Enden in eine konische Stahlspitze aus, die in einer ähnlichen konischen Vertiefung einer starken Metallscheibe *y, y', y''* sich bewegt, welche Scheiben an ihrer unteren Seite mit andern drei kurzen, konischen Stahlspitzen versehen sind, womit sie fest und unverrück-

*) Transact. of the Soc. of arts. London 1806.

**) Vergl. *Pöppe*, *Naturlehre* S. 12.

bar auf dem Beobachtungstische P aufliegen. An der untern Seite dieser drei Arme des Fußgestells ist die metallene Spange a F c angeschraubt. Auf dieser Spange steht die eigentliche verticale Drehungsaxe FE des Theodoliten, die sich in dem hohlen Cylinder Q Q frei bewegt, und an deren oberen Ende der Horizontalkreis R R' senkrecht auf jene Axe befestigt ist. Dieser Horizontalkreis ist entweder ein einfacher Kreis, über dessen Ebene eine in dem Mittelpunkt desselben, unter E, an die Axe FE befestigte Alhidade, die an ihrem andern Ende mit einem Vernier versehen ist, auf und ab läuft, oder er besteht, wie bei dem Multiplicationskreise (s. Art. Vervielfältigungskreis), aus zwei concentrischen Kreisen, von welchen der äußere oder größere durch eine eigene Druckschraube an die Hülse Q Q' der verticalen Axe FE befestigt werden kann, während der innere das Fernrohr und den Höhenkreis tragende Kreis sich entweder innerhalb des festen äußern frei drehen oder wenn er durch seine Druckschraube an diesen äußern Kreis befestigt wird, mit diesem zugleich um die Axe FE rotiren kann, um dadurch die gemessenen horizontalen Winkel auf dieselbe Weise wie bei dem eben erwähnten Instrumente zu multipliciren. — In beiden Fällen sind auf dem innern Kreise R R' verticale Säulen s g befestigt, die an ihren obern Enden die horizontale Drehungsaxe A B des Instruments tragen. Senkrecht auf diese Drehungsaxe ist der Verticalkreis T T' des Theodoliten und das Fernrohr C N D desselben befestigt. Dieser Verticalkreis ist ebenfalls entweder ein einfacher Kreis nach seiner an der Axe A B befestigten Alhidade d e, oder er ist ein doppelter concentrischer Kreis, um damit auch die Höhen multipliciren zu können. Das Fernrohr C N D ist in seiner Mitte bei N unter einem rechten Winkel gebrochen, wo dann ein im Innern des Rohrs bei N angebrachter kleiner Spiegel die von dem Objective D nach der Richtung D N einfallenden Strahlen in die darauf senkrechte Richtung N C nach dem Ocular C zu reflectirt. Bei dieser Einrichtung des Fernrohrs wird also das Auge des Beobachters bei C immer das Gestirn, es mag hoch oder niedrig stehen, in der horizontalen Richtung der Linie C N erblicken, zu welchem Ende also die eine Hälfte N C der Drehungsaxe durchbohrt oder hohl sein muß. Damit die Drehungsaxe A B durch die Objectivhälfte N D des Fernrohrs nicht schief gedrückt wird, ist das Gegengewicht H an der Stange N H angebracht. Um endlich den Höhenkreis T T' in jeder seiner Lagen fest zu stellen, wird man die Druckschraube n, die unmittelbar auf die Drehungsaxe A B wirkt, anziehen, und um dann dem so befestigten Kreise sammt seinem Fernrohre doch noch eine kleine Bewegung zu geben, durch welche man den Faden des Fernrohrs genau auf das Object bringen kann, ist eine eigene Vorrichtung h L mit ihrer Mikrometerschraube m h angebracht. Wenn der Kreis R R' und die Drehungsaxe A B bereits horizontal, und wenn der Höhenkreis T T' so wie die optische Axe des Fernrohrs bereits senkrecht auf der Drehungsaxe A B, also auch senkrecht zu dem Horizonte gestellt sind, so wird man, wenn das Instrument nicht multiplicirt, oder wenn die beiden äußern Kreise R R' und T T' fest sind, bei der Beobachtung mit diesem Instrumente auf folgende Weise verfahren. Gesezt, man wollte den Winkel, welchen zwei Thurmspitzen in dem Auge des Beobachters bilden, und zugleich die Differenz der Höhen dieser Spitzen über dem Horizonte finden. Zu diesem Zwecke wird man den Höhenkreis T T' sammt dem Fernrohre um die Verticalaxe FE, und zugleich das Fernrohr N D um seine Horizontalaxe A B so lange drehen, bis die Spitze des einen Thurms im Felde des Fernrohrs nahe bei dem Durchschnitte der beiden Kreuzfäden desselben erscheint. Jetzt werden beide Kreise R R' und T T' durch ihre Druckschrauben ge-

schlossen, und der Fadendurchschnitt mit Hilfe der Mikrometerschrauben dieser beiden Kreise genau auf die Thürmispitze gebracht, wo dann die beiden Kreise abgelesen werden. Dann werden sie wieder gelüftet und so lange gedreht, bis auch die zweite Spitze im Felde des Fernrohrs erscheint, wo dasselbe Verfahren wiederholt und die Stellung der beiden Kreise wieder abgelesen wird. Die Differenz der beiden Lesungen an dem Kreise RR' gibt dann den gesuchten Horizontalwinkel der beiden Thürme, so wie die Differenz der beiden Lesungen des Kreises TT' die gesuchte Höhendifferenz der Spitzen dieser Thürme geben wird. — Will man die absolute Höhe dieser Objecte selbst kennen, so wird man zuerst den Zenithpunkt des Höhenkreises TT' bestimmen. Man wird z. B. die Höhe irgend eines weit entfernten und scharf begrenzten Gegenstandes in zwei entgegengesetzten Lagen des Instruments beobachten, indem bei der ersten Beobachtung der Kreis TT' rechts und in der zweiten links von dem Fernrohr ND steht. Die Differenz der beiden Lesungen oder der während dieser beiden Beobachtungen von dem Fernrohr durchlaufene Bogen wird die doppelte Zenithdistanz des Objectes sein. Da man dadurch die einfache, wahre Zenithdistanz und die ihr in beiden Lagen des Kreises entsprechende Theilzahl kennt, so weiß man auch, welche constante Größe man von jeder Lesung an diesem Kreise abziehen oder zu ihr hinzuzusetzen hat, um in jeder anderen Beobachtung sogleich wieder die wahre Zenithdistanz des Gegenstandes zu erhalten. — Stellt man ebenso den Nullpunkt des Horizontalkreises RR' in der Ebene des Meridians auf, oder, was dasselbe ist, weiß man, welcher Punkt dieses Horizontalkreises dem Meridiane entspricht, so wird man auch alle an diesem Kreise abgelesenen Bogen nur von jenem Meridianpunkt an zählen, oder von jeder Lesung an diesem Kreise eine bekannte Constante abziehen, um sofort auch die Azimuthe (s. d. Art.) der beobachteten Gegenstände zu erhalten.

Alles dies setzt aber voraus, daß von den beiden Kreisen RR' und TT' , so wie von den beiden Axen AB und FE , die eine horizontal und die andere genau vertical sei. Um zuerst die verticale Drehungsaxe FE vollkommen senkrecht auf dem Horizont zu stellen, wird man sich einer Libelle bedienen, die mit ihren zwei Füßen auf die cylindrischen Enden der Ase AB aufgestellt wird, so daß die Glasröhre der Libelle zwischen den Speichen des Kreises TT' zu stehen kommt. Dann stellt man diese Ase AB parallel zu zwei Fußschrauben KK' und verbessert, bei der jedesmaligen Umdrehung des Kreises um 180 Grade, die eine dieser beiden Fußschrauben so lange, bis die Mitte der Blase in beiden Lagen des Instruments immer denselben Punkt zeigt. Ist z. B. 12 der Theilstrich, bei welchem die Mitte dieser Blase in der ersten Lage steht, und ist 20 derselbe für die zweite Lage des Instruments, so wird in der zweiten Lage die erwähnte Fußschraube so bewegt, daß die Mitte der Blase zu dem Theilstrich 16 oder zu dem Mittel von jenen beiden komme. Ist dies berichtigt, so wird die Ase AB in eine auf die beiden vorigen senkrechte Lage gebracht, und bloß durch die dritte Fußschraube die Mitte der Libelle wieder auf den Theilstrich 16 zurückgeführt. Zeigt dann die Libelle bei allen Richtungen der Ase AB immer denselben Punkt, so wird die Ase FE vollkommen vertical, oder der von dem Künstler auf diese Ase senkrecht abgedrehte Kreis RR' wird vollkommen horizontal sein, wodurch die erste der oben erwähnten Bedingungen erfüllt ist. — Allein nun ist es noch möglich, daß die beiden Stützen fg , welche die horizontale Drehungsaxe AB tragen, von ungleicher Länge sind, wo dann die auf dieser Stütze ruhende Ase AB nicht mehr horizontal, also auch der auf diese Ase AB von dem

Künstler bereits senkrecht abgedrehte Kreis TT' auch nicht mehr vertical sein würde, worin doch die zweite Bedingung besteht, die stattfinden muß, wenn das Instrument in der That zu Beobachtungen tauglich sein soll. Um nun auch dieser Forderung zu genügen, wird man dieselbe Libelle, ohne übrigens jetzt den Kreis selbst weiter zu bewegen, zuerst in einer und dann in der entgegengesetzten Lage auf die Endpunkte der Axe AB stellen, so daß derselbe Fuß der Libelle zuerst nach A und dann nach B kommt. Steht die Libelle in diesen beiden Lagen derselben bei verschiedenen Theilstrichen, so wird man durch eine eigends dazu bestimmte Schraube, die an der einen der Stützen fg bei Z angebracht ist, diese Stütze etwas erhöhen oder erniedern, bis die Libelle in der Mitte zwischen jenen beiden abgelesenen Theilstrichen steht und dieses Verfahren wird man so lange wiederholen, bis die Libelle in ihren beiden Lagen immer denselben Theilstrich zeigt, wo dann die Drehungsaxe AB horizontal ober dem Kreise RR' parallel, und zugleich der Kreis TT' gegen den Horizont senkrecht sein wird.

Um endlich auch noch die optische Axe des Fernrohrs mit dem Kreise TT' parallel zu stellen, wird man den senkrechten Faden desselben auf irgend ein scharf begrenztes terrestrisches Object richten, und dann die Axe AB sammt Fernrohr und Höhenkreis aus ihren beiden Lagern bei A und B herausheben, um es in verkehrter Stellung, so daß jetzt das Arenende A auf das Lager B komme, wieder in diese Lage zurückzubringen. Wird jetzt das Fernrohr wieder auf das terrestrische Object zurückgebracht, und weicht der Faden etwas von demselben ab, so wird man die Hälfte des bemerkten Fehlers durch die Schraube bei A verbessern, welche bestimmt ist, das Fadennetz in horizontaler Richtung zu bewegen *).

Thermoelektricität. Zunächst wollen wir hier die Thermoelektricität der Krystalle besprechen, d. h. diejenigen elektrischen Erscheinungen, welche durch das Erwärmen oder überhaupt durch einen Temperaturwechsel an gewissen Krystallen hervortreten, — Erscheinungen, die man auch durch die Worte Pyroelektricität und Krystallelektricität bezeichnet.

Die ersten Beobachtungen dieser Art sind an dem Turmalin gemacht worden, der auch daher die Namen Aschenzieher, elektrischer Stangenschörl, ceylonischer Magnet erhalten hat, indem man nämlich an demselben nach dem Erwärmen die Eigenschaft bemerkte, leichte Körper, wie Asche, anzuziehen und wieder abzustößen. Die Kenntniß dieser Eigenschaft reicht mindestens bis in das Jahr 1703 zurück**). 1717 zeigte L e m e r y ***), der französischen Akademie einen Turmalin unter dem Namen eines ceylonischen Magnets. L i n n é ****) sprach zuerst die Vermuthung aus, daß diese Eigenschaft des Turmalins von der Elektricität herrühre, was von W i l k e *****) und insbesondere von A e y i n u s †) zur Gewißheit gebracht wurde.

*) Litzow, der Himmel etc. Stuttg. 1838.

**) Beckmann, Beiträge zur Geschichte der Erfindungen. Leipzig 1782. Th. I. St. 2. S. 5. S. 241.

***) Histoire de l'Acad. 1717. p. 7.

****) Flora ceilonica. Holm. 1747. p. 8.

*****) Schwed. Abhandl. Th. XXVIII. S. 95. Th. XXX. S. 1 u. 105.

†) Mémoires de l'Acad. de Berlin. 1756. p. 110. Recueil de différens mémoires sur la Tourmaline. St. Petersburg. 1762.

Auch von Wilson^{*)}, Canton^{**)}, Priestley^{***)}, P. Bergmann^{****)} und später von Jäger^{*****)} wurde der Turmalin rücksichtlich seiner elektrischen Erscheinungen untersucht. Auch die hierauf bezüglichen Untersuchungen Becquerel's^{†)} sind hier zu nennen.

Becquerel hing den Turmalin in einem Steigbügel von Papier an einem einfachen Coconsaden, der in ein gläsernes Gefäß hinabging, auf und setzte das Gefäß in eine Schüssel voll Quecksilber, deren Temperatur mittelst einer darunter angebrachten Alkohollampe erhöht wurde. In dem gläsernen Gefäße neben dem Turmalin befand sich ein Thermometer, welches die Temperatur desselben angab. Nachdem die Temperatur über 30° gestiegen war, begann der Turmalin elektrisch zu werden, welches man an der Anziehung und Abstoßung wahrnahm, die derselbe auf einen ihm genäherten schwach elektrisirten Körper ausübte. Dieser elektrische Zustand dauerte fort, so lange die Temperatur im Steigen blieb, und Becquerel setzte die Beobachtung bis über 150° C. fort. Dabei zeigten sich stets die Enden des Krystalls entgegengesetzt elektrisch. Die Elektricität verschwand, sobald der Temperaturzustand stationär wurde, d. h. weder zu- noch abnahm. Mit der Abnahme der Temperatur zeigte der Krystall alsbald wieder elektrische Polarität, aber das vorher positiv elektrische Ende desselben war jetzt negativ elektrisch, das vorher negative nun positiv. Der Uebergang von einer Polarität zur umgekehrten fand sehr schnell statt. Schon Canton fand diese elektrische Polarität und den Wechsel beim Erwärmen und Erkälten.

Die Kernform des Turmalins ist ein Rhomboeder; die abgeleiteten Gestalten zeigen bemerkenswerthe Ausnahmen vom Ebenmaßgesetze (s. Art. Krystall), welche mit der Eigenschaft, polarisch elektrisch zu werden, im Zusammenhange zu stehen scheinen.

Zerschneidet oder zerbricht man einen elektrisch gewordenen Turmalin, so hat jedes der abgebrochenen Stücke, wie schon Canton bemerkte, einen positiv und negativ elektrischen Pol. Und Brewster fand, daß der Turmalin auch noch im gepulverten Zustand die thermoelektrische Eigenschaft verräth.

Die elektrischen Pole liegen beim Turmalin an den Enden seiner krystallographischen Hauptaxe. Das mit drei Flächen zugespitzte Ende des Krystalls wird beim Erwärmen positiv, das mit sechs Flächen zugespitzte negativ elektrisch.

G. Rose^{††)} stellte die Regel auf, daß derjenige durch (+, —) zu bezeichnende Pol, welcher beim Erwärmen positiv (+), beim Abkühlen negativ (—) elektrisch wird, sich an demjenigen Ende befinde, an welchem die Flächen des Hauptrhomboeders auf den Kanten des dreiseitigen Prismas aufgesetzt erscheinen, während derjenige durch (—, +) zu bezeichnende Pol, welcher beim Erwärmen negativ, beim Abkühlen positiv elektrisch wird, sich an dem Ende befinde, wo dieselben Flächen auf den Flächen des dreiseitigen Prismas aufgesetzt erscheinen.

*) Phil. Transact. T. LI. P. I. p. 308.

**) Phil. Transact. T. LII. P. II. p. 443.

***) Geschichte der Electricität. Deutsche Uebers. S. 436.

****) Schwed. Abhandl. T. XXVIII.

*****) Gilb. Ann. LV. S. 369.

†) Ann. de Chim. et Phys. T. XXXVII. p. 5. 335. Pogg. Ann. Bd. XIII. S. 628.

††) Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 285; vergl. auch Bd. LIX. S. 358.

Das elektrische polare Verhalten eines Turmalins läßt sich im Allgemeinen schon wahrnehmen, wenn man denselben einige Minuten in kochendes Wasser taucht und ihn dann wieder herauszieht, indem man ihn mittelst einer kleinen Vincette in seiner Mitte anfaßt und an einem passenden Elektrometer untersucht. — H a n k e l legte den Krystall auf einen kleinen Messingtisch, der durch eine unter seiner Mitte stehende Lampe erwärmt ward, und berührte die elektrischen Punkte mit dem einen Ende eines durch eine Glasröhre hinlänglich isolirten langen dünnen Drahtes, dessen anderes Ende an dem Stifte befestigt war, von welchem das Goldblättchen eines Bohnenbergerschen Elektroskopes herabhing.

Außer dem Turmalin zeigen noch viele andere krystallisirte Körper ein elektrisch polares Verhalten; und namentlich hat Brewster*) eine lange Reihe solcher Körper aufgestellt. Canton fand den Topas, Brand den Arinit, Haug den Boracit, Mesothyp (Scolezit), Brehnit, Titanit und das kiesel-saure Zinkoxyd, G. Rose den Rhodocit, und H a n k e l das neutrale weinsäure Kali thermoelektrisch. Auch Bergkrystall, Schwerspath, Zucker, Weinsäure und weinsäures Kalium-Natron zeigen diese Eigenschaft.

Kieß und G. Rose, welche sehr viele Krystalle auf ihre thermo- oder pyroelektrische Eigenschaft untersucht haben, benutzten zur Erwärmung der Krystalle ein Schrotbad und entfernten die durch Reiben entwickelte und den Krystallen etwa anhaftende Elektrizität dadurch, daß sie die Krystalle durch die Spitze einer Weingeistflamme zogen**). —

Um die Art der Elektrizität bei einer Temperaturänderung bequem auszudrücken, nennen sie den Pol, an welchem das algebraische Zeichen des Temperaturzuwachses dem Zeichen der dadurch erregten Elektrizität entspricht, den analog elektrischen Pol, und den andern, an welchem sich diese Zeichen widersprechen, den antilog elektrischen Pol. Der analoge Pol eines Krystalles wird also durch Erwärmen positiv (+), durch Erkaltung negativ (—) elektrisch, der antiloge Pol hingegen durch Erwärmen negativ, durch Erkalten positiv elektrisch.

Die angeführten Krystalle erscheinen nur während der Temperaturänderung elektrisch, und zwar so, daß die elektrische Polarität während der Erwärmung und während der Abkühlung einen entgegengesetzten Gang befolgt.

Die elektrische Ase, an deren Enden entgegengesetzt elektrische Zustände nachweisbar auftreten, ist bedingt durch eine gewisse Unsymmetrie in der Krystallbildung, und fällt immer zusammen mit der Verbindungslinie der unsymmetrisch ausgebildeten Stellen.

H a n k e l unterscheidet zwei Arten von elektrischen Axen; die einen sind die eben besprochenen mit entgegengesetzt elektrischen Zuständen an ihren Enden, die anderen sind solche, welche allenthalben denselben elektrischen Zustand zeigen. Während jene allein auftreten können, erscheinen die letzteren stets paarweise, und zwar so, daß beide Axen entgegengesetzt elektrisch sind (die eine positiv, die andre negativ) und sich kreuzen.

Die folgenden Krystalle zeigen eine deutlich ausgesprochene Ase in dem zuerst angegebenen Sinne.

Der Turmalin, dessen elektrische Ase, wie bereits erwähnt, mit seiner krystal-

*) Edinb. Journ. of Science. N. II. p. 208.

**) Pogg. Ann. Bd. LIX. S. 353.

lographischen Hauptaxe zusammenfällt; das Kieselzinkerz, dessen elektrische Axe mit der Hauptaxe der verticalen Prismen zusammenfällt^{*)}; der Scolezit (Resothyp nach Hauy), dessen elektrische Axe mit der Hauptaxe seines verticalen Prismas zusammenfällt^{**)}. Der Zucker besitzt nach Hantel^{***)} gleichfalls nur eine elektrische Axe, welche mit der Orthodiagonale zusammenfällt. Dasjenige Ende, welches die Flächen des verticalen Prismas zeigt, ist der (+, —) Pol, — welcher also beim Erwärmen positiv, beim Abkühlen negativ elektrisch wird, — das andre Ende, welches außer jenen Flächen noch die Flächen des Klinoprismas zeigt, ist der (—, +) Pol. Und mit diesem Ende sind die Krystalle stets aufgewachsen. Bei der Weinsäure haben die Pole an den Enden der Orthodiagonale nur die umgekehrte Lage als beim Zucker, so daß das Ende, welches unsymmetrisch die Flächen des Klinoprismas trägt, der (—, +) Pol ist^{****)}. Auch das neutrale weinsaure Kali besitzt nur eine elektrische Axe, welche mit der Axe der verticalen Säule zusammenfällt. Der (—, +) Pol befindet sich an dem Ende, welches die beiden, auf zwei entgegengesetzten verticalen Prismenflächen aufgesetzten, unsymmetrischen Flächen eines Sphäroeds trägt^{*****)}.

Anderer Krystalle haben mehrere elektrische Axen. So beobachteten Rose und Rieß im Arzinit zwei elektrische Axen, die aber nicht durch den Mittelpunkt des Krystalls gehen und mit keiner krystallographischen Axe zusammenfallen†). Der Wrehnit hat nach denselben zwei gegeneinander gekehrte elektrische Axen, deren analoge Pole zusammenfallen, und erscheint daher dreipolig. Die kurze Diagonale der Basis des Prismas gibt die Richtung beider Axen, deren gemeinschaftlicher analoger Pol (+, —) in der Mitte liegt, während die zugehörigen beiden antilogen Pole (—, +) an den Enden dieser Linie liegen. Rose und Rieß nennen diese Art der elektrischen Vertheilung central-polarisch. Nach Hantel's^{††)} Meinung, der sich gegen eine solche Vertheilung erklärte, würden im Wrehnit zwei elektrische, an den Enden gleichnamige Axen vorhanden sein, und zwar so, daß in der kurzen Diagonale der Basis die (—, +), in der andern die (+, —) Axe liegt. Das Seignettesalz (weinsaure Kali-Natron) hat gleichfalls zwei Axen, die sich in den Diagonalen der Basis durchkreuzen, und von denen nach Hantel^{†††)} die eine (—, +), die andere (+, —) ist.

Der Topas hat nach Rose und Rieß zwei gegen einander gekehrte elektrische Axen, die in der Richtung der kurzen Diagonale der Basis des Prismas liegen. Die beiden analogen Pole (+, —) der Axen fallen in der Mitte der Diagonalen zusammen; die beiden antilogen Pole liegen in den diametralen stumpfen Seitenkanten des Prismas^{††††)}. Hantel^{†††††)} fand im sibirischen Topas eine elek-

*) Vergl. Rieß und Rose in Pogg. Ann. Bd. LIX. S. 362 ff., auch Köhler in Bd. XVII. S. 148.

**) Ebendas. S. 368 ff.

***) Pogg. Ann. Bd. LI. S. 498 ff.

****) Pogg. Ann. Bd. XLIX. S. 500.

*****) Pogg. Ann. Bd. LIII. S. 620.

†) Pogg. Ann. Bd. LIX. S. 375.

††) Pogg. Ann. Bd. LXI. S. 291; vgl. auch ebendas. Rose u. Rieß S. 659.

†††) Pogg. Ann. Bd. LVI. S. 57.

††††) Pogg. Ann. Bd. LIX. S. 384 ff.

†††††) Pogg. Ann. Bd. LVI. S. 37 ff.

rische Hauptaxe, in deren Richtung auch eine Unsymmetrie der Flächen stattfindet und die an ihren Enden entgegengesetzt elektrisch ist. In den Krystallen des brasilianischen Topas tritt diese Axe, öfter bis zum Verschwinden, zurück. Außerdem fand er noch vier Pole, die in den Endpunkten der Diagonalen der Basal liegen, und von denen die gegenüberliegenden gleich sind.

Der Boracit hat, wie Haüy entdeckte, eben so viele elektrische Pole als Würfelcken, nämlich acht. Die elektrischen Aren fallen mit den Endaren des Hexaëders zusammen, und zwar enthalten *) die vier Hexaëdreden, an welchen sich die glänzenden Tetraëderflächen finden, die $(-, +)$ Pole, die vier anderen, welche theils ohne, theils mit den matten Tetraëderflächen vorkommen, die $(+, -)$ Pole. Nach Hantel***) zeigt der Boracit auch in der Mitte der Würfelflächen elektrische Pole, die er bei einem kleinen liniengroßen Boracitwürfel mit einer Intensität auftreten sah, welche die Stärke der Pole in den Würfelcken viele mal übertraf. Hiernach hätte also der Boracit außer den acht Polen in den Würfelcken noch sechs andere in der Mitte der Würfelflächen, und überhaupt sieben polarisch elektrische Aren. — Am Titanit erkannte Hantel vier Pole, welche in dem Hauptschnitt durch die verticale Axe und die schiefe Nebenare liegen.

Nach Hantel****) erfahren die elektrischen Zustände der einzelnen Pole bei den Krystallen des Boracits und Titanits einen Wechsel sowohl während ununterbrochen steigender als sinkender Temperatur. Beim Boracit ist dieser Wechsel sogar ein wiederholter, so daß z. B. eine Ecke des Boracitwürfels bei anfangender Erwärmung erst $-$, dann bei weiter steigender $+$, und bei noch weiter steigender wieder $-$; beim Abkühlen dagegen erst $+$, dann bei weiterem Sinken der Temperatur $-$, und zuletzt wieder $+$ wird. Analog verhalten sich diejenigen Ecken des Krystalles, welche bei steigender Temperatur zuerst $+$ sind.

Wird der Boracit nur wenig erwärmt, so zeigt er nur eine Elektrizität, und beim Erkalten dann die entgegengesetzte. Erhitzt man ihn aber stärker, so zeigt er innerhalb der Temperaturen von ungefähr 120° C. an bis zu 225° sowohl während der Erwärmung, als auch während der Erhaltung die umgekehrten Elektrizitäten als bei niedrigeren Temperaturen. Erhitzt man den Krystall nicht über 225° , so zeigt er beim Erwärmen und beim Abkühlen nur einen Wechsel; ist z. B. an einer bestimmten Ecke beim Erwärmen zuerst $-$ und dann $+$, und beim unmittelbar darauf folgenden Abkühlen auch wieder zuerst $-$, und dann $+$. Wird der Krystall noch weiter erhitzt, so tritt ein zweiter Wechsel der Elektrizität ein, so daß dann die Elektrizitäten in der oben angegebenen Weise auf einander folgen.

An den Bergkrystallen, welche bei Striegau in Schlessen vorkommen, fand Hantel****) drei elektrische Aren mit entgegengesetzt elektrischen Polen, so daß um die Seitenflächen des Krystalles herum positive und negative Pole mit einander abwechseln. Auch besteht im Quarz nach der Richtung dieser Aren eine Unsymmetrie durch die Flächen des trigonalen Trapezöders. Uebrigens treten nicht an allen Krystallen alle sechs Pole mit gleicher Intensität auf.

Thermoelektrische Ströme. Durch die Wirkung der Wärme können

*) Köhler, Pogg. Ann. Bd. XVII. S. 150.

**) Pogg. Ann. Bd. L. S. 482. Bd. LVI. S. 88. Bd. LXI.

***) Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 231.

****) Pogg. Ann. Bd. L. S. 605.

nicht allein entgegengesetzt elektrische Zustände hervorgerufen, sondern auch durch deren continuirliche Ausgleichung und Wiederherstellung (unter geeigneten Umständen) in einem leitenden Systeme elektrische Ströme veranlaßt werden. Wenn man die gleichartigen Drahtenden eines Multiplicators, der aus einer geringen Anzahl (50 — 100) von Windungen eines dickeren ($\frac{2}{3}$ Millim.) Kupferdrahtes besteht, mit den Enden einer Stange aus Antimon in innige Berührung bringt, und die eine Berührungsstelle erwärmt, während man die andere in ihrer gewöhnlichen Temperatur läßt, so zeigt die Nadel des Multiplicators einen elektrischen Strom an, der von der erwärmten Stelle durch das Antimon zu der nicht erwärmten Stelle geht, und von da durch den Multiplicatordraht sich fortpflanzt. Ersetzt man aber das Antimon durch einen Stab aus Wismuth, so hat der Strom unter sonst gleichen Umständen die entgegengesetzte Richtung. Das Wismuth oder Antimon bildet nun hier mit dem Multiplicatordrahte eine sogenannte thermoelektrische Kette. Und eine derartige Kette entsteht immer, wenn man zwei verschiedenartige Metalle so zusammenlötet, daß sie eine geschlossene Kette bilden, und dann den Lötstellen ungleiche Temperaturen ertheilt, indem man die eine Lötstelle etwas erwärmt. Auch kann man, namentlich zur Ermittlung der Stärke des erregten Stromes, an jedes Ende des Multiplicatordrahtes einen Platindraht befestigen und mit diesen beiden Platindrähten die Enden eines Drahtes von dem betreffenden Metall in Berührung bringen. Man erwärmt dann die eine Berührungsstelle, während man die Berührungsstellen zwischen dem Multiplicator- und Platindraht bei ihrer gewöhnlichen Temperatur läßt.

Werden nun zwischen die Drahtenden des Multiplicators nach einander verschiedene Metalle, etwa in Drahtform von gleicher Länge und Dicke gebracht, so führen diese Versuche zu einer sogenannten thermoelektrischen Spannungssreihe, in welcher die einzelnen Metalle so auf einander folgen, daß der elektrische Strom bei der Erwärmung einer Verbindungsstelle je zweier Metalle allemal vom voranstehenden zum nachfolgenden Metall geht. Je weiter die beiden Metalle, welche man zur Construction einer thermoelektrischen Kette wählt, in dieser Reihe auseinander liegen, desto stärker wird der elektrische Strom bei gleicher Temperaturdifferenz der Lötstellen.

Seebeck*), der zuerst solche thermoelektrische Erscheinungen innerhalb eines aus verschiedenen Metallen gebildeten Bogens an der Ablenkung einer Magnetnadel wahrnahm, stellte folgende thermoelektrische Spannungssreihe auf: Wismuth, Nickel, Kobalt, Palladium, Platin, Uran, Kupfer, Mangan, Titan, Messing Nr. 1, Gold Nr. 1, Kupfer, Messing Nr. 2, Platin Nr. 2, Quecksilber, Blei, Zinn, Platin Nr. 1, Chrom, Molybdän, Kupfer, Rhodium, Iridium, Gold Nr. 2, Silber, Zink, Kupfer Nr. 3, Wolfram, Platin Nr. 4, Cadmium, Stahl, Eisen, Arsenik, Antimon.

Eine solche Reihe gilt jedoch nur innerhalb gewisser Temperaturgrenzen, so daß bei höheren Temperaturen sich die Reihenfolge für verschiedene Metalle umkehrt. Auch dann, wenn die Metalle mit andern Metallen legirt oder sonst durch fremde Körper verunreinigt sind, wird ihre Stellung in der Reihe verändert.

*) Denkschriften der Akademie der Wissenschaften zu Berlin. 1822 u. 1823 S. 265. Pogg. Ann. Bd. VI. S. 1. 133. 233.

Ueber die Stellung von Legirungen und Amalgamen in der thermoelektrischen Spannungsreihe liegen die Resultate einer Untersuchung von W. R o l l m a n n *) vor.

Eine längere Versuchreihe über die Richtung der thermoelektrischen Ströme, welche durch sich berührende, ungleich erwärmte Metalle gleicher und verschiedener Art hervorgebracht werden, hat E m m e t **) mitgetheilt. Der Mangel an Uebereinstimmung, der sich in den Resultaten dieser Versuche kund giebt, rührt wohl, wie auch H a n k e l fand, daher, daß die Reihenfolge der Metalle in niederen Temperaturen eine andere ist, als in höheren. Nach H a n k e l ***) stehen die Metalle vom negativen zum positiven in folgender Reihe.

Bei geringen Temperatur-
unterschieden.

Bei größeren Temperatur-
unterschieden.

negativ.

Wismuth
Neusilber
Nickel
Kobalt
Platin, ein Blech
Gold
Messing
Arseniknickel
Kupfer, ein Blech
Zinn
Blei
Kupfer, ein Draht
Silber, 12 löthig
Platin, ein Spatel
Zink
Silber, Nr. 2
Silber, Nr. 1
Kupfer, galvanisches
Kadmium
Eisen
Antimon

Wismuth
Kobalt
Neusilber
Platin, ein Blech
Nickel
Arseniknickel
Messing
Gold
Zinn
Blei
Kupfer, ein Blech
Platin, ein Spatel
Silber, 12 löthig
Eisen
Kupfer, ein Draht
Silber, Nr. 2
Kupfer, galvanisches
Silber, Nr. 1
Zink
Kadmium
Antimon

positiv.

Manche thermoelektrische Ketten erreichen bei gewissen Temperaturen ihr Maximum, und gehen dann wieder auf Null herab, von wo ab der Strom die umgekehrte Richtung annimmt. Das Maximum erreicht (nach H a n k e l)

Eisen mit Zink	bei 143° R.	mit Kupfer	bei 195° R.
" " Zinn	" 167	" Gold	" 206
" " galv. Kupfer	" 169	" Messing	" 235
" " Silber	" 184	" Blei	" 235

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 90.

**) Silliman, amerik. Journ. of sc. T. XXV. p. 271. T. XXVI. p. 311.

***) Pogg. Ann. Bd. LXII. S. 197. 479.

Eine Umkehrung des Stromes wurde bei folgenden Combinationen beobachtet:

Zink und Silber	bei 155° R.
„ „ galv. Kupfer	= 171
Gold und Kessling	= 224
Zink und Eisen	= 252
Galv. Kupfer und Eisen	= 270
Silber und Eisen	= 295
Gold und Kupfer	= 330
Kupfer und Eisen	= 332

Die wirksamste thermoelektrische Kette gibt eine Combination von Wismuth und Antimon, welche die Endglieder der thermoelektrischen Spannungsreihe bilden.

Seebeck bildete eine thermoelektrische Kette in der Weise, daß man an die Enden eines Stäbchens $w w'$ aus Wismuth oder Antimon einen rechtwinklig gebogenen Kupferstreifen k löthet. Stellt man nun das so gebildete Rechteck in den magnetischen Meridian und erhitzt die Löthstelle w , so wird eine empfindliche Magnetonadel, welche innerhalb des Rechtecks frei beweglich angebracht ist, um einen bestimmten Winkel aus der mit der Längenrichtung des Stäbchens parallelen Lage abgelenkt. Es geht dann der sog. positive Strom von w durch den Kupferstreifen k nach w' u. s. w.



Eine wirksame thermoelektrische Kette geben auch Platin und Eisen, und noch wirksamer ist eine solche aus Neusilber und Eisen*).

Bezüglich der thermoelektrischen Spannungsreihe hat sich herausgestellt, daß, wenn man die thermoelektrische Kraft des ersten Metalls dieser Reihe mit allen folgenden bestimmt hat, die Kraft jeder beliebigen Combination aus der Reihe dem Unterschiede der Kräfte in Rücksicht auf das erste gleich ist.

Zur Erzielung größerer Stromintensitäten können mehrere einfache thermoelektrische Ketten der beschriebenen Art zu einer thermoelektrischen Säule oder zu einer sog. Thermosäule mit einander verbunden werden. Es kann dies so geschehen, daß man zwei verschiedenartige Metalle, z. B. Wismuth und Antimon, in der Form von Drähten oder Stäbchen abwechselnd in derselben Ordnung aneinander löthet, so daß, wie nebenstehende Figur zeigt, das Antimonstäbchen a mit dem

II.



Wismuthstäbchen w , und dieses wieder mit einem Antimonstäbchen in Verbindung steht, u. s. f. Die beiden Endglieder, das äußerste Antimon- und Wismuthstäbchen, bringt man mit den Drahtenden eines Galvanometers in Verbindung. Erwärmt man alle Löthstellen, welche auf derselben Seite liegen, so liefert jede einfache Kette einen Strom, der vom Wismuth zum Antimon geht, und die Intensität des Stromes, welcher aus der Summe dieser einzelnen gleichgerichteten Ströme resultirt, ist der Anzahl der einfachen Ketten oder der Anzahl der auf einer Seite liegenden Löth-

*) Pogg. Ann. Bd. L. S. 280.

stellen proportional. Die empfindlichste Thermosäule wurde von Nobili construirt. Dieselbe besteht aus 35 Paaren sehr feiner Nadeln aus Wismuth und Antimon (32 Millim. lang, 2,5 Millim. dick und 1 Millim. breit), die, wie oben in der Figur angegeben, zusammengelöthet sind. Da sich die Nadeln nur an den Löthstellen berühren dürfen, so sind die Zwischenräume mit isolirenden Substanzen ausgefüllt, so daß das Ganze eine compacte Masse bildet. An das erste und letzte Stäbchen, mit denen die Kette endigt, sind zwei Stifte befestigt, welche aus Kupferröhren hervortreten. Mit diesen Stiften werden die Drahtenden eines Multiplikators in leitende Verbindung gebracht. Eine solche Säule gebrauchte Melloni zu seinen Untersuchungen über die strahlende Wärme (s. Art. Wärme).

Mit einer größeren Thermosäule aus Wismuth und Antimon lassen sich bis zu einem gewissen Maße alle Wirkungen der sonst bekannten elektrischen Ströme hervorbringen. Die Löthstellen der einen Seite kann man hierbei durch die strahlende Wärme eines glühenden Eisens erwärmen, während man die Löthstellen der anderen Seite, etwa durch Eiskübe oder dergleichen, abkühlt. Schließt man eine solche Säule durch eine lange Spirale aus Kupferdraht, so erscheint beim Öffnen der Kette ein Funke. Wheatstone*) benutzte zur Erzeugung des Funkens eine Säule von 33 Elementen Wismuth und Antimon, die in ein Bündel von 0,75 Z. Durchmesser und 1,3 Z. Länge vereinigt waren. Mit den Enden der Säule standen zwei dicke Kupferdrähte, die Enden eines spiralförmig gewundenen Kupferstreifens von 50 Fuß Länge und 1,5 Zoll Breite in Verbindung. Der Kupferstreifen war durch braunes Papier und Selbe isolirt. Der eine von den Drähten, welche die Verbindung zwischen den Polen der Säule und dem Multiplikator herstellten, war in zwei Theile getrennt, deren umgebogene Enden in ein kleines Gefäß mit Quecksilber tauchten. Der Funke zeigte sich, sobald man die eine Drahtspitze aus dem Quecksilber zog. Antinori**) erhielt zuerst einen Funken, als er den Strom einer Nobili'schen Säule durch eine Spirale von 505 Fuß Länge leitete, und dann die Kette öffnete. Die Spirale lag um ein Hufeisen von weichem Eisen, welches dabei, so lange der thermoelektrische Strom dauerte, magnetisch war, und dadurch in bekannter Weise (s. d. Art. Induction, elektrische) den Strom verstärkte und beim Öffnen des Schließungsbogens das Hervorbrechen des Funkens begünstigte***). Watkins erhielt auch thermische Wirkungen mit einer Thermosäule aus 18 Paaren prismatischer Wismuth- und Antimonstäbe von vier Zoll Länge, deren Strom durch einen feinen Platindraht ging, welcher sich in der Kugel eines empfindlichen Harris'schen Luftthermometers befand. Auch beobachtete er mittelst seiner Thermosäule bei Anwendung einer Inductionsbatterie, sowohl einen Funken, als auch Wasserzersetzung****). Volta wandte außer einer Nobili'schen Säule (aus Wismuth und Antimon) auch eine Säule von 120 Paaren Eisen- und Platindraht an,

*) Lond. and Edinb. Phil. Mag. No. LXII. p. 414; s. auch Pogg. Ann. Bd. XLI. S. 160.

**) L'Indicatore Sanese 1836. Dec. No. L.

***) Vergl. Jos. Henry in Lond. and Edinb. Phil. Mag. No. LXVII. p. 308.

****) Lond. and Edinb. Phil. Mag. No. LXXVII. T. XII. p. 541. No. LXXXVI. T. XIV. p. 82. Pogg. Ann. Bd. XLVI. S. 496.

wobon jedes Stück 1 Zoll lang und $\frac{1}{4}$ Linie dick war. Die beiden Enden der Säule wurden mit Leitungsdrähten von Platin versehen, und die Enden der letzteren in mit Schwefelsäure angesäuertes Wasser eingesenkt. Die eine Reihe der Lötstellen wurde dann durch eine Weingeistflamme erhitzt; es entstand ein elektrischer Strom, der das Wasser zersetzte *). Auch Alexander **) erhielt vermittlest der Thermosäule Funkenerscheinungen und chemische Effecte. Zuckungen an Froschschenkeln vermittlest eines thermoelektrischen Stromes wurden zuerst von Robill bemerkt ***). Alle diese Versuche sind wiederholt worden, und lassen sich leicht wiederholen, so daß es keinem Zweifel mehr unterliegt, daß die thermoelektrischen Ströme ihrem Wesen nach mit den aus anderen Quellen entspringenden elektrischen Strömen übereinkommen. Auch elektromagnetische Rotationsbewegungen wurden sehr früh mittelst der Thermokette bewirkt, wie sich dies nach der beobachteten Wirkung auf die Magnetnadel nicht anders erwarten ließ. Eine hieher gehörige Vorrichtung gab wohl zuerst Gunning an ****).

Die elektroskopischen Eigenschaften der Thermosäule hat Kohlrausch †) mittelst des Condensators und Elektrometers untersucht. Die Thermosäule besitzt hiernach Spannungselektricität an ihren Polen, wenn sie geöffnet ist, eben so zeigt sich diese Elektricität auf der Oberfläche der geschlossenen Säule, und zwar nach denselben Gesetzen wie bei der hydroelektrischen Säule.

Aus dem Verhältniß der Ladungen, welche derselbe Condensator von einer einfachen Daniell'schen Kette und einer Thermosäule von 769 Baaren bei einem Temperaturunterschiede der Lötstellen von 10° bis 15° erhielt, ergab sich, daß bei diesem Temperaturunterschiede die elektromotorische Kraft einer einfachen aus Eisen und Quecksilber construirten Thermokette nur $\frac{1}{6662}$ oder in runder Zahl $\frac{1}{6600}$ von der elektromotorischen Kraft einer einfachen Daniell'schen Kette beträgt.

Die thermoelektrische Kette oder Säule giebt, so lange die Temperaturdifferenz der Lötstellen unveränderlich erhalten wird, stets einen Strom von constanter Stärke, und läßt sich deshalb auch zur experimentalen Prüfung des Ohm'schen Gesetzes sehr wohl gebrauchen.

Die Stromstärke ist der Temperaturdifferenz der Lötstellen innerhalb gewisser Grenzen proportional. Diese Grenzen liegen bei verschiedenen Ketten mehr oder weniger weit aus einander, und für manche Thermoketten scheint jene Proportionalität gar nicht zu bestehen ††), indem für höhere Temperaturen ein anderes Verhalten und in Folge dessen eine Umkehr bezüglich der Richtung des Stromes eintritt.

Seebeck machte die Wahrnehmung, daß auch in einem einzigen Metall durch Erwärmung elektrische Ströme auftreten können. Es ist dies namentlich bei krystallinischen Metallen, wie beim Wismuth, Antimon u. d. d. Fall. Man braucht nur eine kleine, leicht bewegliche Magnetnadel über ein Stück Wismuth

*) Bibl. univ. 1832. Sept. Pogg. Ann. Bd. XXVIII. S. 238.

**) Pogg. Ann. Bd. XLII. S. 626.

***) Pogg. Ann. Bd. XIV. S. 161.

****) Schweigger's Journ. N. R. Th. X. S. 321.

†) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 411.

††) Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 367 und Bd. XL. S. 144.

ober Antimon zu bringen, um auf der Oberfläche desselben Punkte zu finden, welche durch Erwärmung eine Ablenkung der Nadel veranlassen. Seebeck fand an Ringen von Wismuth oder Antimon, welche stellenweise erwärmt wurden, mehrere Punkte, an denen sich die magnetische Wirksamkeit am stärksten äußerte, während an anderen Punkten keine bemerklich war. Derartige Punkte können nur durch den Versuch ermittelt werden. Bringt man einen prismatischen oder cylindrischen Wismuthstab in den magnetischen Meridian und erhitzt eines seiner Enden durch die Flamme einer Spirituslampe, so wird eine über oder unter der Stange befindliche Magnetnadel an mehreren Stellen abgelenkt, wenn man die Stange allmählig um ihre Axe dreht. Dabei haben je zwei wirksame Stellen einen Punkt zwischen sich, von dem keine Wirkung ausgeht. So findet man bei einer prismatischen Stange nicht selten an zwei diametral gegenüberliegenden Kanten entgegengesetzte Polarität, während die beiden dazwischenliegenden indifferent erscheinen. Ähnliche Resultate erhielt auch Melin *). Eine stärkere Wirkung tritt hervor, wenn man eine Wismuthstange zur Hälfte ihrer Länge erhitzt, und gleichzeitig die andere Hälfte durch Eis oder Verdunstungskälte (z. B. durch Beträufeln mit Naphtha) abkühlt. Der Nordpol einer unter der Stange befindlichen Magnetnadel wird dann am warmen Ende nach Ost, am kalten nach West abgelenkt. So entsteht auch in einem kreisförmigen Ringe von Wismuth oder Antimon ein sehr merklicher Strom, wenn man die eine Hälfte erhitzt, während man die andere Hälfte abkühlt.

Sturgeon **), welcher die Versuche Seebeck's mit Ringen, Rahmen und Stäben aus Wismuth und Antimon wiederholte, fand, gleich Seebeck, eine Abhängigkeit dieser Erscheinungen von dem krystallinischen Gefüge dieser Körper.

Derselbe fand auch, daß in einem Regel von Antimon der positiv elektrische Strom von der Spitze zur Basis geht, falls die letztere abgekühlt wird, während der Strom die entgegengesetzte Richtung hat, wenn man die Basis des Regels erhitzt.

Endlich kann auch in einzelnen gleichartigen, dehnbaren Metallen ein thermoelektrischer Strom entstehen, was zuerst durch Melin näher dargelegt wurde. Diese Versuche sind seitdem vielfach abgeändert worden. Man wickelt einen Platindrath zu einer Spirale auf und verbindet die Enden derselben innigst mit den Drahtenden eines für thermoelektrische Ströme empfindlichen Multiplicators. Der letztere giebt dann die Anzeige eines elektrischen Stromes, sobald der Platindrath auf der einen oder anderen Seite der Spirale erhitzt wird. Schlingt man in einen Platindrath, dessen Enden mit dem Multiplicator zu verbinden sind, einen Knoten, so entsteht gleichfalls, wie zuerst Becquerel (***) wahrnahm, ein elektrischer Strom, wenn man den Draht in der Nähe des Knotens erhitzt. Auch kann man zwei spiralförmige Platindrähte an die Enden des Multiplicatordrahtes löthen; erhitzt man dann die eine Spirale und bringt sie mit der anderen in innige Berührung, so zeigt die Nadel des Multiplicators einen elektrischen Strom an, der vom erhitzten zum kalten Theil geht. Eben so verhalten sich verschiedene andere Metalldrähte, nur hat nach Cuiret der Strom bei allen durch die Hitze leicht

*) Gilb. Ann. Bd. LXXIII. S. 418. Schweigg. Journ. Bd. XXXVII. S. 21.

**) Phil. Mag. T. X. p. 116. Becquerel's Traité etc. T. II. p. 41.

***) Annal. de Chim. et de Phys. II. Sér. T. XXI. p. 357.

oxydirbaren Metallen die entgegengesetzte Richtung. Man erhält schon, wie Nobili fand, die Anzeige eines elektrischen Stromes *), wenn man das eine Ende eines Multiplicatordrahtes aus Kupfer rothglühend macht und dasselbe dann an das andere kalte Ende andrückt. Der positive Strom geht von dem heißen nach dem kalten Ende. Eben so erhält man thermoelektrische Ströme, wenn man mit den Multiplicatorenden zwei Metallstücke von gleichartiger Beschaffenheit in der Form von Drähten, Scheiben u. verbindet, und das eine Stück, nachdem man es stark erhitzt hat, an das andere kalte Stück andrückt.

Erhitzt man einen Eisendraht, den man vorher an irgend einer Stelle bis zum Rothglühen erhitzt hat, nach dem Erkalten in der Nähe der ausgeglühten Stelle, so giebt sich ein elektrischer Strom zu erkennen, falls der Eisendraht mit einem empfindlichen Multiplicator in Verbindung steht. Ohne Zweifel hat die ausgeglühte Stelle des Drahtes (durch die vorausgegangene starke Hitze) eine Veränderung in ihrem Gefüge erlitten. Auch durch eine theilweise Verschiedenheit in der Härte eines Metalles wird in diesem die Bedingung zu einem thermoelektrischen Strome gegeben. So wird z. B. ein hufeisenförmiges Stück Eisen thermoelektrisch, wenn der eine Schenkel desselben gehärtet, der andere Schenkel weich angelassen und die Mitte seines Bogens erhitzt wird.

Es kann nun keinem Zweifel unterliegen, daß die thermoelektrischen Ströme durch die Wärme wenigstens veranlaßt werden; und Becquerel schloß aus den gegebenen Thatsachen, daß die Entstehung dieser Ströme weiter bedingt sei durch eine ungleiche Fortschreitung der Wärme auf beiden Seiten der erhitzten Stelle, so daß sich also die Wärme nach beiden Seiten nicht auf gleiche Weise und mit derselben Leichtigkeit fortpflanzt. Bei den thermoelektrischen Erscheinungen durch ungleichartige Metalle soll hierbei sehr ihr ungleiches Wärmeausstrahlungsvermögen in Betracht kommen, was dann wohl auch bei thermoelektrischen Strömen in sonst gleichartigen Metallen der Fall ist, wenn diese in ihrem Innern und an der Oberfläche irgend welche Verschiedenheiten darbieten. Wird wie in einem der oben angeführten Versuche, ein zu einer Spirale aufgewickelter Platindraht auf der einen Seite in der Nähe dieser Spirale erhitzt, so pflanzt sich die meiste Wärme nach der Seite der Spirale hin fort, weil hier eine größere Metallmasse in einem kleinen Raume vereinigt ist.

Wahrscheinlich ist nun mit der ungleichen Fortschreitung der Wärme zu beiden Seiten der erhitzten (oder auch erkalteten) Stelle die Bedingung zu einem elektrischen Strome insofern gegeben, als auf beiden Seiten verschiedene Molecularveränderungen oder auch gleichartige Molecularveränderungen in ungleichem Maße stattfinden. Die bisher im Gleichgewichte (um die Massentheilchen) vorhandene Elektrizität wird dann nothwendig von der einen nach der anderen Seite strömen und in dieser Strömung so lange beharren müssen, als die betreffenden Molecularveränderungen andauern. Sind aber diese Molecularveränderungen auf beiden Seiten der erhitzten Stelle durchaus gleich, so werden die etwa eintretenden elektrischen Gleichgewichtsstörungen, indem sie nach entgegengesetzten Richtungen in gleichem Maße stattfinden, in ihren Wirkungen sich aufheben. Bezüglich einer homogenen Metallmasse ist hiernach die Bedingung zu einem elektrischen

*) Schweigg. Journ. N. N. Th. XXIII. S. 246.

sehen Ströme schon gegeben, wenn die Wärme (aus irgend einem Grunde) von der erhitzten Stelle aus nach der einen Seite in größerer Menge fortschreitet, als nach der anderen Seite hin. Und es kann hiernach auch nicht befremden, wenn Drähte aus demselben Metalle in Hinsicht auf die Richtung des thermoelektrischen Stromes mancherlei Anomalien darbieten, die dann ihren Grund wohl ohne Zweifel in verschiedenen inneren Structurverhältnissen haben. Die Richtung des Stromes in jedem gegebenen Falle festzustellen muß freilich so lange Schwierigkeiten darbieten, als man nicht sicher weiß, von welcher verschiedenen Art die sämmtlichen durch die Wärme bewirkten Molecularveränderungen sind.

Als *Henrici* *) Drähte von Kupfer, Messing, Platin, Zink, Neusilber, Eisen, Cadmium an beliebigen Stellen mittelst der Spitze eines erhitzten Messingstreifens erwärmte, erhielt er fast ohne Ausnahme Ablenkungen der Galvanometernadel, oft von mehreren Graden, bald nach der einen, bald nach der anderen Seite, so daß er mit der Spitze des Messingstreifens die wirksamen Stellen der Drähte genau ausmitteln konnte. — Auch fand er, daß die Metalle durch Ausglühen in der allgemeinen thermoelektrischen Reihe dem Wismuth näher gerückt werden. Wenn man je zwei gleichartige Drähte, von denen der eine zuvor stark ausgeglüht worden, mit einander combinirt und an der Berührungsstelle erwärmt, so geht der Strom allemal vom geglähten zum ungeglühten Drahtende.

Aus dem thermoelektrischen Verhalten der Metalle für sich läßt sich aber ihr Verhalten in der Combination mit anderen Metallen nicht folgern. So giebt z. B. Wismuth-Kupfer einen vom Wismuth zum Kupfer gehenden Strom bei Erwärmung der Berührungsstelle, während beide Metalle, jedes für sich, nach *Henrici* Ströme von entgegengesetzter Richtung geben.

Wir haben oben erwähnt, daß *Bequerel* das thermoelektrische Verhalten der Metalle von ihrem Wärmeausstrahlungsvermögen abhängig hielt. Hierdurch sollte die Stärke und Richtung des Stromes bedingt sein. So zeigen hiernach Gold, Silber, Zink und Kupfer dasselbe thermoelektrische Verhalten, weil sie rückfällisch ihres Wärmeausstrahlungsvermögens keinen Unterschied darbieten. Und auch v. *Wrede* ist der Meinung, daß der Unterschied zwischen dem Strahlungsvermögen der Metalle die Richtung und Intensität des Stromes bestimmt. Dies ist jedoch nach den neueren Untersuchungen von *Magnus* nicht mehr wahrscheinlich.

Magnus **) schließt aus seinen Untersuchungen über diesen Gegenstand, daß die Ursache der thermoelektrischen Ströme weder in einer Verschiedenheit des Wärmeausstrahlungsvermögens noch in einer Verschiedenheit des Leitungsvermögens für die Wärme liege, oder daß dieselben überhaupt nicht in der Fortpflanzung der Wärme begründet seien. Die Elektricität, die sich in diesen Strömen fund giebt, ist nach ihm vielmehr durch die Berührung von heterogenen Substanzen bedingt. Bei der Berührung zweier Metalle oder auch nur eines harten und weichen Stückes desselben Metalles, nimmt jedes von beiden Elektricität an, und mit einer Aenderung der Temperatur wird auch die Intensität dieser Elektricität sich ändern. Wenn daher z. B. ein hartes Stück eines Metalles an jedem

*) Pogg. Ann. Bd. LXXX. S. 167.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXXIII. S. 469 ff.

Ende mit einem weichen Stück desselben Metalls berührt wird, so ist, so lange die Temperatur an beiden Berührungsstellen dieselbe ist, auch die Elektricität an beiden gleich, aber von entgegengesetzter Richtung, weshalb kein Strom entsteht. Ist hingegen die Temperatur an den Berührungsstellen verschieden, so ist auch die Elektricität an diesen verschieden, und die Differenz der beiden Wirkungen wird die Intensität und Richtung des Stromes bedingen. — Die in einem einzigen dehnbaren Metalle auftretenden Ströme haben ihren Grund vorzugsweise in der stellenweise verschiedenen Härte desselben.

Magnus *) macht darauf aufmerksam, daß bei der Entstehung eines Stromes in einem einzigen Metalle zwei Fälle wohl zu trennen sind. Man kann nämlich 1) einen Strom in einem ganz in sich geschlossenen Leiter erzeugen, der nur aus einem einzigen Metall besteht, oder, wenn man einen Multiplikator einschalten will, ein so langes Stück des zu prüfenden Metalls enthält, daß bei Erwärmung der zu untersuchenden Stelle eine Temperaturveränderung der Enden, wo die Berührung mit dem Multiplikator stattfindet, nicht zu befürchten ist; und 2) läßt sich ein Strom erhalten, wenn man zwei Stücke eines und desselben Metalles mit einander berührt, von denen das eine wärmer ist als das andere. In diesen beiden Fällen sind die Erfolge ganz verschieden, und daher kann auch bei Anwendung eines Leiters, der aus zwei Stücken desselben Metalls besteht, die sich nur in einzelnen Punkten berühren und bei denen nicht gerade die Berührungsstelle erwärmt wird, leicht ein gemischtes Resultat erhalten werden. —

Sowohl Seebeck als auch nach ihm Sturgeon fanden schon, daß die krystallinische Structur des Wismuths und Antimon von Einflusse sei auf die Richtung der in diesen Metallen hervortretenden thermoelektrischen Ströme. Swanberg **) hat nun dargethan, daß die Richtung des Stromes durch die Lage der Blätterdurchgänge bestimmt wird.

Nimmt man zwei Stücke von Wismuth oder Antimon, die senkrecht gegen den Hauptblätterdurchgang geschnitten sind, so geht der Strom vom warmen zum kalten Stück, bei Stücken dagegen, die in der Richtung der Durchschnittslinie der beiden Blätterdurchgänge geschnitten sind, in entgegengesetzter Richtung, nämlich vom kalten zum warmen.

Versuche über die Beziehung der krystallinischen Structur zu den thermoelektrischen Strömen sind auch von R. Franz ***) angestellt worden. Derselbe operirte mit Würfeln aus Wismuth von kaum ein Cubiccentimeter Größe. Diese Würfel wurden zwischen festliegende geschliffene Glasplatten gelegt, und standen durch quadratische Säulen von Kupfer mit den Drähten des Multiplikators in Verbindung. Durch einen in einem Sandbade erwärmten Glaszylinder, der vermittelft Mikrometerschrauben genau so eingestellt werden konnte, daß er die Verbindungslinie beider zu untersuchenden Würfel berührte, ward es möglich, stets mit derselben meßbaren Temperatur die Verbindungslinie der Würfel zu erwärmen. Außerdem war ein Hebel so angebracht, daß der eine Arm die eine Kupfersäule horizontal gegen die Würfel und diese an einander presste, wenn der andere viel längere Hebelarm belastet wurde.

*) A. a. D. S. 473.

**) Compt. rend. T. XXXI. p. 280.

***) Pogg. Ann. Bd. LXXXIII. S. 374 und Bd. LXXXIV.

Die Würfel waren aus einem regelmäßig geschichteten (künstlichen) Stück Wismuth geschnitten, so daß theils die Hauptspaltungsrichtung zweier Würfel-flächen parallel, theils gegen zwei Flächen des Würfels um 30° , resp. 60° geneigt war; dadurch wurde es möglich, die Spaltungsebenen zweier Würfel einander parallel, oder um 30° , bezüglich 60° gegen einander geneigt zu stellen.

Zuerst wurde ein Vorversuch angestellt. Durch Schmelzen von etwa 10 Pfd. Wismuth und Abgießen der flüssigen Masse nach Erstarrung der Oberfläche wurden einige sehr schöne Krystalle gewonnen, die man zwischen die Kupfersäulen des oben angegebenen Apparates anklemmte. Durch Erwärmung der Berührungslinie der Kupfersäule und des Wismuthkrystalles mußte ein positiver Strom entstehen, der an der Berührungsstelle vom Wismuth zum Kupfer ging; der Strom blieb aber positiv während der Erwärmung irgend eines anderen Theils des Wismuthkrystalles, sobald die Hauptspaltungsrichtung im Krystall nach dieser ersten Berührungsfläche hin abfiel; der Strom schlug aber sogleich in die entgegengesetzte Richtung um, sobald der Krystall so gestellt wurde, daß die Neigung seiner Hauptspaltungsebene zu der anderen Kupfersäule hin abfiel. Wie man also auch den Krystall erwärmte, der positive Strom ging stets von der Erwärmungsquelle aus, in der Richtung, welche die größte Spaltbarkeit durch ihre Neigung bei der jedesmaligen Lage des Krystalles andeutete.

Der Vereinfachung wegen bezeichnet Franz die beiden Kupferstücke seines Instruments mit B und A, und nennt einen von B nach A gehenden Strom positiv, wenn er in dem Sinne geht, als wenn bei B Wismuth, bei A Antimon läge.

Zunächst wurden nun die nach der Spaltungsrichtung geschnittenen Würfel so an einander gelegt, daß die Spaltungsebenen vertical und in beiden Würfeln gleichmäßig lagen, und zwar so, daß von A und B aus betrachtet die Spaltungsebenen beider Würfel äquatorial standen. Die Erwärmung der Verbindungslinie brachte bei dieser Lage der Würfel entweder gar keinen Strom hervor, oder doch nur so kleine Ströme, daß sie der nicht ganz gleichmäßigen inneren Structur des Metalls zuzuschreiben waren. Darauf wurden zwei andere Würfel so zwischen die Kupfersäulen eingeklemmt, daß die Hauptspaltungsebene beider einen Winkel von 30° mit der Horizontalebene bildete, und zwar so, daß die Ebene von B nach A hin sich senkte. Durch Erwärmung der Verbindungslinie wurde bei dieser Lage eine mittlere Ablenkung von $+34,5^\circ$ hervorgebracht. Wurde nun die Hauptspaltungsebene gegen die Horizontalebene um 60° geneigt, so betrug die Ablenkung der Nadel (der erste Ausschlag derselben) $+19,7^\circ$. Eine ganz gleiche Ablenkung der Nadel, nur nach der entgegengesetzten Richtung hin, ergab sich in beiden Fällen, sobald die Spaltungsebene nach B hin in demselben Sinne neigte.

War die Hauptspaltungsebene gegen die Verticalebene in beiden Würfeln gleichmäßig geneigt, so fanden bei der Erwärmung der Berührungslinie beider Würfel in den verschiedenen Lagen kleine unregelmäßige Strömungen statt, die wohl nur von einem Mangel an Homogenität herrührten.

Lagen die nach der Hauptspaltungsrichtung geschnittenen Würfel so an einander, daß die Ebene der Spaltung horizontal lag, so wurde durch die Erwärmung kein Strom hervorgebracht; auch entstand nur ein sehr geringer und unregelmäßiger, sobald die Würfel so an einander gepreßt wurden, daß die axial gerichteten Hauptspaltungsebenen beider Würfel einen Winkel von 90° mit einander bildeten. Lag aber die Hauptspaltungsebene des einen Würfels axial, die des an-

deren äquatorial, so ging ein positiver Strom von dem Würfel mit äquatorialer Spaltung zu dem mit axialer an der Verbindungsstelle über.

Blieb der Würfel bei B in äquatorialer Stellung, während man die Hauptspaltungsrichtung des Würfels bei A erst um 30° gegen die Horizontalebene neigte und dann um 60° , und zwar zuerst so, daß die Richtung der Spaltung nach der Erwärmungslinie abfiel, so gab die Nadel des Multiplikators bei 30° einen Ausschlag von $+ 28^\circ$, bei 60° Neigung einen Ausschlag von 13° . Ist die Neigung der Spaltungsrichtung zur Horizontalebene eine entgegengesetzte, neigt sich also die Spaltung von der Erwärmungslinie nach A hin, so war der Strom bei 30° Neigung 35° , bei 60° Neigung 29° .

Wurde die Lage der Würfel vertauscht, so nahm der Strom die entgegengesetzte Richtung.

Aus allen diesen Versuchen folgt, daß bei einem gleich gerichteten Stück Wismuth die Neigung der Hauptspaltungsrichtung die Richtung des durch Erwärmung dieses Stückes hervorgebrachten positiven Stromes andeutet, und daß bei der Neigung der Hauptspaltungsrichtungen gegen einander in zwei verschiedenen Stücken durch Erwärmung der Verbindungsstelle ein Strom hervorgebracht wird, der stets von der für den Strom äquatorialen Richtung sich fortbewegt, und zwar um so leichter, je größer der Winkel ist, den die Hauptspaltungsebenen mit einander machen.

Hiernach ist denn auch die verschiedene Lage des Wismuths von Bedeutung für den Strom, den es in Berührung mit anderen Metallen erzeugt; es ergab sich ein bedeutender Unterschied in der Stärke des Stromes, je nachdem ein Wismuthwürfel mit einem anderen Metall in den beiden Hauptlagen in Berührung gebracht wird. Antimon bot ähnliche Resultate.

Hiernach stellte Franz *) Versuche an, um zu ermitteln, ob auch durch Erwärmung anderer Metalle ein thermoelektrischer Strom hervorgebracht werden könne, wenn dünne Plättchen in ähnlicher Weise an einander gereiht werden, wie sie bei der Krystallbildung des Wismuth durch die Natur geordnet sind. Die zu untersuchenden Metalle wurden in dünnen Blechscheiben von 2 Centim. Durchmesser angewandt. Von denselben wurden 100 bis 1000 Plättchen auf einander geschichtet, so daß man eine Säule erhielt, die zwischen mehrere in Kork gebohrte Glasstäbe so eingesetzt wurde, daß die Plättchen etwa einen Winkel von 45° mit den einander parallelen Glasstäben oder der Axe der Vorrichtung bildeten. Das andere Ende der Säule wurde durch einen entsprechenden Kork, welchen die Glasstäbe durchbohrten, geschlossen. Beide Korke waren auf der einen Seite so geformt, daß sie gegen die Platten gedrückt werden konnten, ohne deren Neigung zu ändern, und in ihrer Mitte durchbohrt, um Drähte, von demselben Metall wie die Plättchen, mit den äußersten Plättchen in leitende Verbindung zu bringen. Diese Drähte führten zu einem Spiegelgalvanometer. Die Erwärmung geschah mittelst einer Neolipilaf Flamme an einer der Längsseiten der Säule. Hätte man nun eine horizontal gelegte Säule aus krystallisiertem Wismuth mit parallelen Plättcherdurchgängen, so würde bei der Erwärmung der einen Längsseite der positive Strom von links nach rechts und bei Erwärmung der entgegengesetzten Seite von rechts nach links gehen.

*) Pogg. Ann. Bd. XCVII. S. 34.

Manche Metalle verhalten sich nun in Bezug auf die Stromrichtung gerade wie Wismuth, während in anderen der Strom bei derselben Erwärmungsart im entgegengesetzten Sinne auftritt. — Folgende Metalle wurden der Untersuchung unterworfen: Feines Silber, zwölflöthiges Silber, mit 78 Proc. Kupfer (alte preussische gute Groschen), Neusilber I., II., III., Messing, Zink, Kupfer. Die Dicke der Plättchen hielt sich zwischen $0^{\text{mm}},037$ und $0^{\text{mm}},930$. Die Berührungsstelle der Leitungsdrähte und Plättchen war übrigens durch passend geformte und eingelegte Korkstücke vor der directen Strahlung der Flamme geschützt. Auch überzeugte man sich, daß der beobachtete Strom nicht ein gewöhnlicher Thermostrom in der Art sei, wie ihn die ungleiche Erwärmung der Berührungsstelle zwischen der Endplatte und dem gleichmetallischen Leitungsdrahte erzeugen könnte. Zwölflöthiges Silber, Zink und Messing gaben nun bei schiefer Plattenschichtung und einseitiger Erwärmung einen Strom wie krystallisirtes Wismuth; feines Silber, Silber mit 78 Proc. Kupfer, Neusilber und Kupfer einen entgegengesetzten. — Als Hauptresultate wurden folgende Sätze aufgestellt.

Wenn dünne Plättchen desselben Metalls schief geschichtet werden, so zeigen sie bei einseitiger Erwärmung der durch die Schichtung entstandenen Säule einen durch einen Galvanometer meßbaren Strom, dessen Richtung entgegengesetzt ist, je nachdem die obere oder untere Kante der liegenden Säule erwärmt wird. Wenn man sich die Metallplättchen an die Stelle des Hauptblätterdurchganges des Wismuth gelegt denkt, so ist der beobachtete Strom bei zwölflöthigem Silber, Zink und Messing eben so gerichtet, wie bei gleichförmig krystallisirtem einseitig erwärmtem Wismuth, bei schiefer Lage der Blätter. Feines Silber aber, Silber mit 78 Proc. Kupfer, Neusilber und Kupfer zeigen einen entgegengesetzt gerichteten Strom.

Diese beobachteten Ströme lassen eine Erklärung zu, die sich auf frühere Beobachtungen thermoelektrischer Ströme an gleichartigen Metallen stützt. Ein kalter und warmer Draht desselben Metalls gaben bei der Berührung einen thermoelektrischen Strom. Jedes Plättchen der aufgebauten Metallsäule wird bei einseitiger Erwärmung zunächst der Wärmequelle warm, die entferntere Hälfte des Plättchens ist verhältnismäßig kalt. Die in jedem Plättchen auf ähnliche Art wie in den kalten und warmen Drähten erzeugten Ströme summiren sich und bewirken die Ablenkung der Multiplicatornadel. Bei Metallen, in deren Drähten der Uebergang des positiv elektrischen Zustandes vom kalten zum warmen Draht geschieht, muß der Strom eine andere Richtung haben. — Schließlich wird die Meinung ausgesprochen, daß diese Resultate vielleicht die Erklärung der pyroelektrischen Erscheinungen an Mineralien anbahnen könnten. —

Beltier machte die Wahrnehmung, daß ein galvanischer Strom, welcher durch ein aus verschiedenen Metallen zusammengesetztes leitendes System geleitet wird, je nach seiner Richtung an den Berührungs- oder Löthstellen dieser Metalle eine Temperatur-Erhöhung oder Erniedrigung bewirkt. Die größte Wärmeerregung fand sich dann, wenn der positive Strom von einem schlechten zu einem guten Leiter der Elektricität überging, und die geringste bei entgegengesetzter Stromesrichtung *).

*) Ann. de Chim. et de Phys., T. LVI. Vergl. Moser im Repertorium Bd. I. S. 340 ff.; v. Quintus Trilius in Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 377.

Bringt man die Löthstelle einer Thermokette aus Wismuth und Antimon in ein geeignetes Luftthermometer, und läßt dann einen mäßigen galvanischen Strom, der durch einen Widerstandsmesser regulirt werden kann, durch die Thermokette hindurchgehen, so verräth das Thermometer eine Temperaturerhöhung, falls der Strom die Richtung vom Antimon zum Wismuth hat, dagegen eine Abkühlung, wenn der Strom in der Richtung vom Wismuth zum Antimon geht. Im ersten Falle hat der galvanische Strom gleiche Richtung mit dem thermoelektrischen, welcher durch eine Erkältung der Verbindungsstelle beider Metalle hervorgerufen werden würde, im zweiten dagegen gleiche Richtung mit dem thermoelektrischen Strom, welchen die Erwärmung der bezeichneten Stellen veranlaßt.

Legt man nach Peltier zwei verschiedene Metallstäbe, etwa von Wismuth und Antimon, in der Form eines Kreuzes über einander, und löthet sie an der Durchkreuzungsstelle an einander, so ist ein solches Kreuz geeignet, um die Temperaturveränderungen der Löthstelle zu ermitteln, nachdem man einen galvanischen Strom in der einen oder anderen Richtung hindurchgeleitet hat. Zwei Enden dieses Kreuzes werden nämlich mit den Poldrähten einer galvanischen Kette verbunden, so daß der Strom durch die Löthstelle hindurchgeht; die Temperaturveränderung an der letzteren läßt sich dann wahrnehmbar machen, wenn man sofort nach Unterbrechung des galvanischen Stromes, die beiden anderen Enden des Kreuzes mit einem Multiplikator verbindet. Die Ablenkung der letzteren entspricht der Intensität des thermoelektrischen Stromes, welcher aus der Temperaturveränderung der Löthstelle resultirt.

Läßt man einen galvanischen Strom durch eine zusammengesetzte thermoelektrische Kette (Thermosäule) aus Wismuth und Antimon gehen, so wird abwechselnd die eine Löthstelle erwärmt und die andere abgekühlt, und die Thermosäule wird dann an einem Multiplikator, nach Unterbrechung des galvanischen Stromes, ebenfalls einen thermoelektrischen Strom, und zwar einen stärkeren als eine einfache Thermokette, zur Anzeige bringen.

Lenz brachte auch einen Wassertropfen an der Löthstelle einer Wismuth- und Antimonstange (von 0,4" Seite) zum Erstarren. Derselbe bohrte nämlich an der Löthstelle ein Loch ein, und umgab die Stangen bis auf die Löthstelle mit schmelzendem Schnee, und füllte das Loch mit Wasser. Auf diese Weise wurden die Stangen und auch das Wasser auf die Temperatur 0° gebracht. Ein galvanischer Strom, der nun durch beide Metalle in der Art hindurchgeleitet wurde, daß die sogenannte positive Elektrizität vom Wismuth zum Antimon ging, bewirkte an der Löthstelle eine Temperaturerniedrigung; das Wasser gefror nach kurzer Zeit, und seine Temperatur sank auf $-30,5$.

Eine Anwendung der mechanischen Wärmetheorie auf die thermoelektrischen Erscheinungen hat Clausius*) geliefert. — Ueber die Anwendung der thermoelektrischen Kette zu einem Pyrometer vergl. den Art. Pyrometer, Bd. V. S. 525.

Thermometer, Wärmemesser (v. dem griech. θερμός, warm und μετρώ, ich messe) ist ein Instrument, welches zur Bestimmung der Temperatur (s. Art. Temperatur) der Körper und überhaupt zur vergleichenden Messung der fühlbaren (freien) Wärme der Körper dient.

*) Pogg. Ann. Bd. XC. S. 513.

Unser Gefühl ist nicht ausreichend, um auf die in einem Körper enthaltene Menge der Wärme einen sicheren Schluß zu ziehen, wie vielfache Erfahrungen ergeben. Wir führen nur einige Beispiele an. Das Flußwasser kommt uns im Sommer, wenn wir uns baden wollen, kühl vor und nach genommenem Bade erscheint uns das in seiner Temperatur unverändert gebliebene Wasser minder kalt. Derselbe Wein, welcher uns nach einer warmen Speise kühl vorkommt, schmeckt nach einer kalten, z. B. nach Eis, lau. Ueber die Temperatur desselben Körpers urtheilen verschiedene Personen oft gleichzeitig sehr verschieden und der Eine erklärt wohl gar den Körper für warm, welchen ein Anderer für kalt hält. Taucht man einen einzelnen Finger in Wasser von 32° R., so erscheint dieß nicht so warm, als Wasser von nur 30° R., wenn man in dasselbe die ganze Hand eintaucht.

In vielen Fällen ist es nun nicht nur wünschenswerth, sondern sogar nothwendig die Temperatur genau bestimmen zu können, z. B. bei dem Raffiniren des Zuckers, beim künstlichen Ausbrüten der Eier, in Gewächshäusern etc. Das Bedürfniß eines zuverlässigen Wärmemessers ist daher ein wohl begründetes. Wie man sich ein solches Instrument verschaffen, auf welches Princip man dasselbe gründen kann, dazu bieten sich der Wege gar viele dar. Jede Wirkung der Wärme auf die Körper, die sich bei Temperaturveränderungen derselben herausstellt, würde dazu benutzt werden können, sofern man überzeugt sein kann, daß keine andere Kraft als die Wärme auf die eingetretene Veränderung im Zustande des Körpers mit eingewirkt hat. Man würde die Aggregatsveränderungen der Körper durch die Wärme benutzen können, indem z. B. die Temperatur, bei welcher Blei schmilzt, niedriger ist, als die zum Schmelzen des Silbers erforderliche und also, wenn in einem bestimmten Raume nur der eine dieser beiden Stoffe geschmolzen wird, ein Anhalt über die in demselben bestehende Temperatur gewonnen würde. Die Unvollkommenheiten dieser Methode liegen nahe, da, um eine möglichst genaue Temperaturbestimmung zu erhalten, eine große Reihe von Stoffen mit möglichst nahe liegenden Schmelztemperaturen erforderlich sein würde. Dennoch findet diese Methode in manchen Fällen, namentlich bei sehr hohen Temperaturen, eine vortheilhafte, wenigstens ausreichende Verwendung. Man würde die Volumenveränderungen der Körper durch die Wärme benutzen können, und wir werden sehen, daß gerade dieser Weg der gewöhnlich eingeschlagene und am vollkommensten ausgebildete ist. Man könnte die durch Temperaturveränderung herbeigeführten elektrischen Ströme zur Anwendung bringen, um aus der Stärke dieser auf die Größe jener zu schließen, wie dieß in dem Thermomultiplicator (s. Wärme) wirklich geschieht und auch in Pouillet's magnetischem Pyrometer (s. Art. Pyrometer, Bd. V. S. 525) zur Ausführung gekommen ist. Doch wir wollen nicht alle Wirkungen der Wärme hier aufzählen, aus denen man rückwärts einen Schluß auf die stattgehabte Wärmemenge ziehen könnte, zumal wir dieß im Art. Pyrometer schon im Wesentlichen angedeutet haben. In diesem Artikel handelt es sich überdieß nur um die Messung der gewöhnlichen Temperaturen, da die Mittel sehr hohe Temperaturen zu bestimmen bereits im Art. Pyrometer ihre Erledigung gefunden haben, und in dem Art. Differentialthermometer die Instrumente besprochen sind, welche zur Messung geringer Temperaturunterschiede verwendet werden.

Das gewöhnliche Thermometer gründet sich auf die Volumen-

Veränderungen der Körper bei Temperaturveränderungen. Im Allgemeinen erhält jeder Körper bei einer Temperaturerhöhung das Bestreben, sich in einen größeren Raum auszudehnen, und bei Temperaturniedrigung, sich in einen kleineren zusammenzuziehen. Kennt man nun den Gang der Volumenveränderung bei gleich großen Temperaturveränderungen, so kann man aus der Größe derselben auf die Größe der Wärmeveränderung selbst schließen. Hierbei kommt es indessen noch darauf an, daß man einen Körper auswählt, welcher bei eintretender Temperaturveränderung eine möglichst bedeutende Volumenveränderung erleidet, damit man selbst geringere Temperaturveränderungen wahrnehmen könne, ferner, daß derselbe für Wärmeveränderungen empfindlich sei, d. h. sehr schnell den Einfluß der stattgehabten Veränderung zur Erscheinung bringt, und endlich möglichst umfangreiche Messungen gestatte, also selbst für sehr hohe und sehr niedrige Wärmegrade eine genaue Messung nicht unmöglich mache. Weder organische Stoffe werden sich daher eignen, denn diese trocknen in der Wärme ein, krümmen sich und schrumpfen zusammen, noch Stoffe wie Wasser, denn dieses verwandelt sich bei hoher Temperatur in Dampf, bei niedriger in Eis. Hiernach würden zu Thermometern schließlich nur die permanenten Gasarten tauglich sein, da diese bei keiner und bekannten Temperatur in tropfbarflüssigen oder festen Zustand übergehen. Die ältesten Wärmemesser sind auch in der That Luftthermometer.

Daß man im Alterthume keine Thermometer hatte, ist namentlich in meteorologischer Rücksicht sehr zu bedauern. „Denn das Gebiet der Anwendung des Thermometers und der rationellen Folgerungen, die aus seinen Anzeigen gezogen werden können, ist, wie A. v. Humboldt sagt, so unermesslich als das Gebiet der Naturkräfte selbst, welche in dem Luftmeere, auf der Feste oder in den über einander gelagerten Schichten des Oceans, in den unorganischen Stoffen wie in den chemischen Lebensprocessen der organischen walten.“ Die Geschichte des Thermometers reicht etwa 250 Jahre zurück. Der gelehrte holländische Landmann Cornelius Drebbel (zu Alkmaar in Nordholland) scheint zu Anfang des 17. oder am Ende des 16. Jahrhunderts zuerst auf den Gedanken gekommen zu sein, die Volumenveränderungen der Körper durch die Wärme zur Messung der Wärmeveränderungen zu benutzen *). Das Drebbel'sche Thermometer (s. nebenstehende Figur) bestand aus einer engen, an dem einen Ende mit einer Kugel *a* versehenen Glasröhre, die mit ihrem offenen Ende *c* in ein Gefäß *b* tauchte, welches mit verdünnter, durch aufgelöstes Kupfer gefärbter, Salpetersäure gefüllt war. Die Luft in der Kugel war durch Erwärmung so weit verdünnt, daß die Röhre bei einer mittleren Temperatur etwa zur Hälfte mit der Flüssigkeit gefüllt war. Dies Thermometer konnte unmöglich richtige Resultate geben, da das Gefäß *b* offen war und mithin der Luftdruck auf den Stand der Flüssigkeit in der Röhre einen Einfluß ausüben mußte. Drebbel schloß, da bei einer absichtlichen Erwärmung der Kugel *a* die Flüssigkeit in der Röhre fiel, daß ein Fallen stets eine Wärmezunahme voraussetze, und da bei absichtlicher Abkühlung ein Steigen der Flüssigkeit eintrat,



*) *Dalencé, Traité des baromètres, thermomètres et notiomètres. Amst. 1688. De Lur, Untersuchungen über die Atmosphäre etc. Bd. I. S. 353. Anmerk. v. Humboldt's Kosmos. Bd. II. S. 377 und 515. Pogg. Ann. Bd. XXI. S. 326.*

daß ein Steigen stets Folge einer Wärmeabnahme sei. Da der Druck der Luft erst 1645 durch Torricelli nachgewiesen wurde, so war Drehbel die Einwirkung des Luftdruckes unbekannt, so daß man ihm aus der Vernachlässigung desselben keinen Vorwurf machen kann. Es ist aber klar, daß eine Abnahme des äußeren Luftdruckes bei ungeänderter Wärme ein Sinken der Flüssigkeit in der Röhre zur Folge haben wird, eben so wie eine Zunahme des äußeren Luftdruckes ein Steigen desselben bewirken muß. Tritt gleichzeitig eine Temperaturzunahme ein und eine Steigerung des Luftdruckes, so ist es möglich, daß der Stand der Flüssigkeit ungeändert bleiben oder sogar ein höherer werden kann, so daß man auf einen ungeänderten Wärmezustand schließen müßte, oder auf eine Abnahme der Temperatur. Eben so kann bei einer Temperaturabnahme, wenn gleichzeitig eine Abnahme des äußeren Luftdruckes eintritt, der Stand der Flüssigkeit ungeändert bleiben, oder anstatt zu steigen, sinken. Das Instrument ist mithin durchaus unzuverlässig; indessen war mit demselben die Bahn für derartige Instrumente gebrochen.

Von den Abänderungen dieses Instrumentes erwähnen wir nur die Einrichtung von *Montons* *). Das Instrument ist einem Flaschen- oder *Violenbarometer* ähnlich und wie dieses mit Quecksilber gefüllt, aber die Röhre ist oben offen und die Kugel, die sich am umgebogenen unteren Ende (s. beistehende Figur) befindet, geschlossen. Die Kugel e war zum Theil mit Luft gefüllt und das In-

strument enthielt so viel Quecksilber, daß bei der Temperatur des siedenden Wassers das Niveau desselben in der Röhre von dem in der Kugel bei d 73 Par. Zoll abstand. Bei Temperaturbeobachtungen mußte von dem Stande der Flüssigkeit der jedesmalige Barometerstand in Abrechnung gebracht werden. Durch einen Verschuß des oberen Endes der Röhre wäre der Einfluß des äußeren Luftdruckes leicht zu beseitigen gewesen. Das Instrument litt jedoch außerdem an Unbequemlichkeit wegen seiner Größe.



Das erste bequeme Thermometer erfanden im 17. Jahrhunderte die Florentiner Akademiker **). Dasselbe hatte die Form und Einrichtung der jetzt gewöhnlichen Thermometer, nur war es mit gefärbtem Weingeist gefüllt. Man ist so glücklich gewesen in Florenz eine Kiste mit alten Thermometern der *Academie del Cimento* aufzufinden ***) und hat an diesen ermittelt, daß ihr Nullpunkt mit -15° R., so wie der 50° mit $+44^{\circ}$ R. übereinstimmte. Man bestimmte bei der Anfertigung einen einzigen festen Punkt durch die Temperatur eines tiefen Kellers, da man die Beobachtung gemacht hatte, daß diese unveränderlich war. Von diesem

Punkte aus war die Theilung willkürlich, nur daß man nach dem ersten Instrumente die anderen abtheilte, um eine Uebereinstimmung zu gewinnen.

Wollte man mit diesen Instrumenten übereinstimmende Thermometer an anderen Orten anfertigen, so war ein solches als Normalthermometer zu Grunde zu legen. Ein wesentlicher Fortschritt war es, dadurch übereinstimmende Ther-

*) *Mém. de l'Acad. de Par.* 1702. p. 1.

**) *Tentamina Acad. del Cimento* ed. *Musschenbroek* T. I. p. 2.

***) *Pogg. Ann.* Bd. XXI. S. 325.

meter herzustellen, ohne an ein Normalthermometer gebunden zu sein, daß man zwei feste Punkte bestimmte, die aller Orten in gleicher Weise zu ermitteln waren, und ihren Abstand, den sogenannten Fundamentala b s t a n d, weil man die beiden festen Punkte F u n d a m e n t a l p u n k t e nannte, in eine bestimmte Anzahl gleicher Theile theilte. Einen dahin zielenden Vorschlag machte R e n a l d i n i *), indem er die Temperatur des schmelzenden Eises mit 0 bezeichnen und die übrigen Grade durch Mischung von kaltem und siedendem Wasser nach bestimmten Verhältnissen ermitteln wollte. Auch N e w t o n **) beschäftigte sich mit dieser Aufgabe und schlug vor, die Thermometerrohre mit Leinöl zu füllen, die Temperatur des schmelzenden Schnees mit 0 und die Wärme des menschlichen Körpers mit 12 zu bezeichnen. Er giebt noch an, daß bei solcher Eintheilung das siedende Wasser 33 bis 34 Grade zeigen werde, eine mit der gegenwärtig gebräuchlichen Scaleneintheilung überraschend genau zusammenfallende Bestimmung. Die unveränderliche Temperatur des siedenden Wassers scheint R é a u m u r zuerst erkannt zu haben, indessen war die Bestimmung seines Nullpunktes nicht genau. Zur Füllung des Thermometers wählte er mit $\frac{2}{10}$ seines Volumens verdünnten Weingeist, stellte das Instrument in eine Mischung von Eis und Salz und beobachtete den Stand desselben bei eintretender Eissbildung. Diesen Punkt bezeichnete er mit 0 und da er fand, daß sich der Weingeist von dieser Temperatur bis zu der des siedenden Wassers um $\frac{80}{1000}$ des Volumens bei 0 Grad ausgedehnt hatte, so bezeichnete er die Temperatur des siedenden Wassers mit 80, den Abstand der beiden Punkte in 80 gleiche Theile theilend. Seine Thermometergrade betrugen also $\frac{1}{1000}$ der scheinbaren Ausdehnung des in dem Instrumente bei Null Grad eingeschlossenen Weingeistes. Dies ist die Entstehung der R é a u m u r'schen oder sogenannten achtzigtheiligen Scala. Die Wahl des Weingeistes war nicht glücklich. De L u c zeigte in seinen für die Thermometrie besonders wichtigen Untersuchungen über die Atmosphäre und die zu Abmessungen ihrer Veränderungen dienlichen Werkzeuge ***), daß man nach R é a u m u r's Verfahren keine übereinstimmenden Instrumente erhalten könne, namentlich wegen der Füllung derselben mit Weingeist. Er wählte als thermometrische Substanz Quecksilber, behielt jedoch die achtzigtheilige Scala bei. Hiernach sind die jetzt gebräuchlichen sogenannten R é a u m u r'schen Thermometer eigentlich De L u c'sche Thermometer. — Nach einer in neuester Zeit aufgefundenen Correspondenz ****) ist L i n n é der erste gewesen, welcher den Eis- und Siedepunkt (0° und 100°) als Fundamentalepunkte des Thermometers festgesetzt hat.

Daniel Gabriel Fahrenheit, ein Verfertiger von Wettergläsern in Danzig, nahm die Kälte von 1709, da er sich bei dieser Gelegenheit überzeugte, daß die Temperatur des schmelzenden Eises kein eigentlicher Nullpunkt der Wärme sei, als Wärmeminimum an. Dieselbe niedrige Temperatur konnte er durch eine Mischung von Schnee oder Eis, Wasser und Salmiak oder Seesalz hervorbringen; sie bezeichnete er mit Null, wählte dann für den Siedepunkt des Queck-

*) Philosophia naturalis. Patav. 1694. T. III. p. 276.

**) Philos. Transact. 1701. No. 270.

***) Aus dem Französischen übersetzt, Leipzig 1776. Bd. 1. S. 351 ff. Vom Thermometer, S. 554. Von dem wahren R é a u m u r'schen Thermometer.

****) Compt. rend. T. XVIII. p. 1063. Pogg. Ann. Bd. LXIII. S. 122.

silbers 600 und fand, daß der Punkt des anfangenden Gefrierens auf 32 und der Punkt der menschlichen Wärme, die man durch längeres Halten des Instrumentes unter dem Arme oder im Munde findet, auf 96 falle *). Schon 1714 erhielt Wolf von ihm zwei übereinstimmende Thermometer, was allgemeines Aufsehen erregte. Weil es indessen klar ist, daß er die beiden Normalpunkte nicht bei jedem Thermometer erhalten konnte, so unterliegt es keinem Zweifel, daß er sich ein Normalthermometer verfertigt hatte, nach welchem er die übrigen graduirte, wodurch für ihn die Uebereinstimmung leicht zu erhalten war. Auch diese ersten Thermometer waren mit Weingeist gefüllt; jedoch verfertigte Fahrenheit zehn Jahre später Quecksilberthermometer, bei denen er das ursprüngliche Null mit der Eisschmelztemperatur 32° beibehielt, als zweiten Punkt aber den des siedenden Wassers wählte und mit 212 bezeichnete. Dies ist die eigentliche Fahrenheit'sche Scala.

De l'Isle meinte 1733 **), man müsse nur Einen festen Punkt annehmen, und hierzu wählte er den Siedepunkt des Wassers, welchen er mit 0 bezeichnete. Weil nun nach seinen Messungen das Quecksilber sich von hier bis zur Temperatur des schmelzenden Eises um 0,0150 seines Volumens zusammenziehen sollte, so bezeichnete er den letzteren Punkt mit 150. Dies ist die sogenannte De l'Isle'sche Scala, an welcher von allen übrigen abweichend die Grade abwärts gezählt werden. Sie ist — abgesehen von einigen Petersburger Beobachtungen — nicht in Gebrauch gekommen, und ist schon deshalb nicht zu empfehlen, weil die Abnahme der Wärme durch steigende Zahlen, eine Temperatur über die des siedenden Wassers aber sogar durch negative Zahlen ausgedrückt wird.

Ungleich zweckmäßiger war der durch Celsius gethane Vorschlag ***), bei der Graduirung der Thermometer die absolute Ausdehnung der in ihnen enthaltenen Flüssigkeiten zu vernachlässigen, und statt dessen lieber den Raum zwischen den festen Punkten — Eisschmelzpunkt und Siedepunkt des Wassers — in 100 gleiche Theile (als runde und hierfür die angemessenste Zahl) zu theilen. Dieser so einfache und nahe liegende Gedanke veranlaßte die Celsius'sche oder Hunderttheilige oder Centesimal-Scala, welche indessen lange Zeit bloß in Schweden Eingang fand, und daher stellenweis auch die Schwedische genannt wird. In Deutschland bedient man sich gewöhnlich der Réaumur'schen Eintheilung, in England der Fahrenheit'schen; in Frankreich ist durch die Einführung des metrischen Systems statt der bis dahin gebräuchlichen Réaumur'schen die Celsius'sche die übliche geworden und in wissenschaftlichen Werken findet die letztere auch immer mehr Eingang. — Neuerdings hat Walferdin ****) eine 400-theilige Scala vorgeschlagen, durch welche die Irrthümer, die durch die Vorzeichen + und — entstehen können, vermieden werden sollen. Der Nullpunkt der Eintheilung entspricht dem Gefrierpunkte des Quecksilbers. Der Vorschlag dürfte schwerlich Beifall finden.

Nach diesen wenigen historischen Notizen, welche die Hauptmomente in der

*) Philos. Transact. 1724 No. 384 u. 382.

**) Mém. pour servir à l'hist. et aux progrès de l'Astron. et géogr. phys. St. Petersburg. 1738. p. 267.

***) Schwedische Abhandlungen 1742. S. 197.

****) Polytechnisches Centralblatt. 1855. S. 1206.

Entwicklung der Thermometrie enthalten, tritt neben dem Suchen nach einem passenden thermometrischen Stoffe namentlich das Bestreben hervor eine Eintheilung zu finden, welche vergleichbare und übereinstimmende Thermometer möglich macht. In der Festsetzung des Eisschmelzpunktes und Siedepunktes des Wassers, bei welchem letzteren, wie wir noch sehen werden, allerdings der Barometerstand Berücksichtigung finden muß, hat man für die Eintheilung einen festen Anhalt und mehrere Fundamentalpunkte erhalten. In Betreff des thermometrischen Stoffes haben wir namentlich Weingeist, Quecksilber und Leinöl kennen gelernt. Es fragt sich nun, ob diese Stoffe auch der Art sind, daß ihre Volumenveränderungen den Wärmeveränderungen proportional sind.

Da eine gesperrte permanente Luftmasse durch alle in unserer Gewalt stehende Veränderungen der Temperatur in keiner anderen Rücksicht, als in Ansehung der Expansivkraft eine Veränderung erleidet, so ist diese ein völlig gleichförmiges Maß der Wärme. Die Erhöhung der Expansivkraft einer absolut gesperrten Luftmasse durch die Wärme ist eine reine Wirkung der Wärme und somit das wahre Maß derselben. Bei festen und tropfbarflüssigen Körpern sind in solchen Fällen innere Cohäsionskräfte und bei Flüssigkeiten auch noch die Schwere als entgegengewirkende Kräfte in Betracht zu ziehen, so daß die durch die Wärme bewirkte Ausdehnung ein zusammengesetztes Resultat ist. Bei einer Luftmasse wirkt der Wärme nichts, als äußerer Druck entgegen. Die einzige genaue thermometrische Substanz ist demnach die Luft.

Bezeichnen wir das Volumen einer Luftmasse mit V bei der Temperatur T und mit v bei der Temperatur t , so wird, sobald die Luftmasse sich bei Verstärkung der Expansivkraft durch die Wärme so ausdehnen kann, daß ihre ursprüngliche Expansivkraft E dieselbe bleibt, sich $V : v = T : t$ verhalten. Denn wäre die Temperatur ungeändert geblieben und hätte die Luftmasse statt des Volumens V das Volumen v dadurch angenommen, daß die Expansivkraft in e übergegangen wäre, so würde nach dem Mariotte'schen Gesetze $V : v = E : e$ sein, und wäre hierauf die Luftmasse vollkommen gesperrt und ihre Temperatur auf t erhöht worden, so würde nach dem Vorhergehenden eben so $T : t = E : e$ sein.

Wäre die Luftmasse nicht vollständig gesperrt, so daß sie sich zwar ausdehnen kann, aber mit jeder Ausdehnungszunahme auch der Gegendruck wächst, so nimmt nicht nur das Volumen zu und geht aus V in v über, sondern auch die Expansivkraft steigt und geht von E in e über. Dann verhält sich $T : t = VE : ve$. Denn denken wir uns, daß bei gleichbleibender Expansivkraft E das Volumen V in v übergehe durch eine Temperatur z , so würde $T : z = V : v$ sein, und nehmen wir an, daß bei völlig abgesperrtem Volumen v eine Erhitzung bis z eintrete, so würde $z : t = E : e$ sein müssen, folglich ergiebt sich aus beiden Proportionen $T : t = VE : ve$.

Kennt man mithin die Verhältnisse $T : t$ und $E : e$, so ist auch das Verhältniß der wahren Wärme $T : t$ gegeben.

Das erste Thermometer, welches nach Kenntniß des äußeren Luftdruckes mit Luft als thermometrischer Substanz gefüllt wurde, also das erste Luftthermometer, war das oben angegebene Thermometer von Amontons. Nach den Versuchen, welche Amontons anstellte, würde sich die Wärme des Eisschmelzpunktes zu der des Siedepunktes des Wassers wie $1 : 1,417$ verhalten, d. h. die

Luft würde sich von 0°C. bis 100°C. von dem Volumen 1 auf das Volumen 1,417 ausdehnen. Lambert *) fand das Verhältniß 1 : 1,370; Gay-Lussac **) bestimmte dasselbe zu 1 : 1,375; Rudberg (Art. Ausdehnung, Bd. I. S. 620) erhielt 1 : 1,365, was Magnus und Regnault durch Wiederholung der Versuche bestätigten.

Wollte man ein Luftthermometer herstellen, welches einen bedeutenden Umfang hätte und z. B. vom Gefrierpunkte des Quecksilbers bis zu dem Siedepunkte desselben brauchbar wäre, so würde dasselbe eine sehr unbequeme Länge erhalten. Wollte man sich die gleichzeitige Barometerbeobachtung ersparen, so müßte das Instrument am oberen Ende der Röhre geschlossen und daselbst luftleer gemacht werden. An der langen Röhre könnte dann unmittelbar eine Thermometerscala angebracht werden. Das Instrument würde indessen selbst dann, wenn es nur bis zum Siedepunkte des Wassers reichen sollte, eine ungeschickte Länge erhalten müssen, da es bei einer Steigerung der Wärme bis zum Siedepunkte des Quecksilbers die Länge des offenen Thermometers übersteigen würde. Nur dann, wenn man sich auf niedrige Temperaturen beschränkt, ist eine Länge ausreichend, welche die eines gewöhnlichen Barometers um einige Zoll übertrifft. Die Herstellung eines solchen Instrumentes würde der eines Phiolenbarometers ähnlich sein, nur daß man eine etwas längere Röhre zu wählen und der Phiole die Form einer Kugel zu geben hätte. Ist das Barometer fertig, so schmilzt man die Kugel zu, bestimmt den Eis-Schmelzpunkt auf gewöhnliche Art und versieht die Röhre dann mit einer etwa bis zu 35°C. gehenden Scala. Den dieser Temperatur entsprechenden Punkt findet man mit Zugrundelegung des Rudberg'schen Coefficienten, wenn man den Abstand desselben von dem Niveau in der Kugel zu dem Abstände des Eis-Schmelzpunktes von demselben Niveau in dem Verhältnisse 1 : 1,12775 bestimmt. — Könnte man in die Kugel sehr verdünnte Luft bringen, so wäre es möglich dem Instrumente, selbst bis zum Siedepunkte des Quecksilbers ausreichend, eine nur mäßige Größe zu geben; aber der Ausführung stehen schwer zu überwindende Schwierigkeiten entgegen.

Die Beobachtungen am Luftthermometer haben besonders Werth bei der Untersuchung, ob irgend eine andere thermometrische Substanz sich der Wärme proportional ausdehnt oder nicht. Lambert ***) und Gay-Lussac ****) haben den Gang des Quecksilbers in dieser Weise untersucht, eben so Dulong und Petit. Auch die Arbeiten von Magnus *****) und von Regnault †) sind zu beachten, da aus ihnen besonders ein Einfluß der Glasorte auf die Resultate heraustritt. Eine große Reihe von Flüssigkeiten, die zu thermometrischen Substanzen verwendet werden könnten, sind von Isidor Pierre in Bezug auf das Luftthermometer zusammengestellt ††). Wegen des Näheren ist Art. Aus-

*) Pyrometrie. Berl. 1779.

**) Pogg. Ann. Bd. XXVII. S. 681; vergl. Artikel Ausdehnung, Bd. I. S. 616 ff.

***) Pyrometrie S. 113.

****) Biot, Essai de phys. exp. et math. T. I. chap. 9.

*****) Pogg. Ann. Bd. LVII. S. 177.

†) Ann. de Chim. et de Phys. Ser. III. T. V. p. 83. Pogg. Ann. Bd. LVII. S. 199.

††) Compt. rend. T. XXVII. p. 213. Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 458.

dehnung, Bd. I. S. 584 ff. zu vergleichen, in Betreff des Quecksilbers namentlich S. 588, des Weingeistes S. 597. Da die Ausdehnung des Quecksilbers für alle Temperaturen von Fahrenheit's künstlichem Frospunkte bis zum Siedepunkte des Wassers der Wärme proportional ergeben hat, indem Luftthermometer und Quecksilberthermometer fast vollständig übereinstimmen, so ergibt sich die Entbehrlichkeit des ungeeigneten Luftthermometers bei der Bestimmung dieser Temperaturen und der vollständige Ersatz desselben durch das bequeme Quecksilberthermometer. Das Quecksilber besitzt überdies den Vorzug einen bedeutenden Temperaturunterschied zu vertragen, so daß die Thermometerscala von -40°C. bis 300°C. reichen kann, ferner daß dasselbe leichter als andere Flüssigkeiten rein und von immer gleicher Beschaffenheit sich darstellen läßt, was zur Anfertigung übereinstimmender Thermometer ein Haupterforderniß ist, und endlich daß es gegen die Wärme mehr als andere Flüssigkeiten empfindlich ist, also die Temperaturveränderungen sehr schnell zur Erscheinung bringt.

Ueber die Volumenveränderungen des Weingeistes durch die Wärme haben wir den nöthigen Hinweis gegeben. Leinöl empfahl Newton wegen seines hohen Siedepunktes, ist aber nicht weiter in Betracht gekommen. Hier bemerken wir nur noch, daß Weingeistthermometer, wenn sie nach denselben Principien wie Quecksilberthermometer angefertigt sind, mit Quecksilberthermometern nicht übereinstimmen, daß man dieselben aber bei sehr niedrigen Temperaturen nicht entbehren kann. Für sehr niedrige Temperaturen hat Professor Pleischl in Wien *) ein mit flüssigem Schwefelkohlenstoff (Campadius'scher Schwefelalkohol) gefülltes Thermometer vorgeschlagen und anfertigen lassen, welches er Kthometer (v. dem griech. $\kappa\theta\upsilon\sigma$, frigus, algor, Kälte, Frost), also Kältemesser nennt im Gegensatz zum Phrometer.

Vergleichen Instrumente sind besonders Bedürfniß geworden, seit man die Kohlensäure im starren und das oxydirte Stickgas (Stickstoffoxydul) im starren und tropfbarflüssigen Zustande darzustellen gelernt hat und diese Stoffe sogleich wieder zu Kälte erregenden Mitteln gebraucht. Die bisher angewendeten thermometrischen Substanzen haben sich nämlich für die hierbei entwickelten niedrigen Temperaturen als ungenügend und dem Zwecke nicht entsprechend erwiesen, indem Alkohol von 0,840 specif. Gewicht zähe und solcher von 0,797 specif. Gew. bedeutend dickflüssig werden. Pleischl färbt den Schwefelalkohol mit einer sehr geringen Menge Jod intensiv violettroth, so daß der Flüssigkeitsfaden in der Glasröhre gut in die Augen fällt und leicht, selbst bei Kerzen- und Lampenlicht, beobachtet werden kann. Beim Zusammenziehen und bei der Ausdehnung stimmt nach Pleischl's Beobachtungen der Schwefelkohlenstoff mit dem Quecksilber gut überein, obgleich der Siedepunkt der Flüssigkeit schon bei $46^{\circ},6\text{C.}$ liegt. Poggen-dorff macht jedoch darauf aufmerksam, daß nach Gay-Lussac und Munck **) die Ausdehnung des Schwefelkohlenstoffs mehr mit der des Alkohols, als mit der des Quecksilbers übereinkomme. Die gefärbte Flüssigkeit hängt sich übrigens beim Steigen und Fallen nicht bemerklich am Glase an, behält im Gegentheil ihre Oberfläche constant bei und erscheint scharf begrenzt. In der Entfernung erscheint

*) Pogg. Ann. Bd. LXIII. S. 113.

**) Art. Ausdehnung. Bd. I. S. 587 und 602.

der Raum über der Flüssigkeit ungefärbt; steht man das Instrument jedoch in der Nähe an, so scheint ein schwach gelblicher — von dem Jode herrührender — Rauch den leeren Raum auszufüllen, ohne jedoch das genaue Ablesen im Geringsten zu beeinträchtigen.

Zur Bestimmung sehr niedriger Temperaturen hat Pouillet auch sein Luftpyrometer und sein magnetisches Pyrometer vorgeschlagen, worüber das Nähere im Art. Pyrometer *).

Genau übereinstimmende Thermometer anzufertigen ist mit manchen Schwierigkeiten verbunden. Ein genaues Thermometer ist daher eine viel größere Seltenheit, als man gewöhnlich glaubt. Ueber das Technische bei der Anfertigung enthält viel jetzt noch Brauchbares: Anweisung zur Verfertigung der Thermometer von Luz. Nürnberg 1781. 2. Aufl. 1823. Wir geben hier, wie bereits in der ersten Auflage dieses Lexicons geschehen ist, eine genaue Anweisung zur Verfertigung der Thermometer nach Baumgartner: Die Naturlehre etc. Supplementband. Wien 1831. S. 102 ff., werden jedoch nicht verfehlen manche in späterer Zeit noch angegebene Verbesserung mitzutheilen.

Bei der Verfertigung eines Quecksilberthermometers hat man zuerst die Glasröhre recht zu wählen und bei dieser Wahl auf die Beschaffenheit des Glases und auf die Dimensionen der Röhre Rücksicht zu nehmen. Die Künstler lieben zwar in der Regel Röhren aus weichem Glase, das man an der grünlichen ins Blaue spielenden Farbe erkennt, weil es sich leichter im Feuer erweichen läßt; allein dieses hat die nachtheilige Eigenschaft, entweder schon beim Auskochen des Quecksilbers, oder doch mit der Zeit in der gewöhnlichen Temperatur, eine Art Zerziehung zu erleiden, so, daß sich das Quecksilber daran hängt und ihm die Durchsichtigkeit benimmt. Deshalb soll man sich lieber an das weiße, wenn auch härtere Glas, halten. Die Glasdicke ist wohl im Allgemeinen gleichgiltig, nur verunglückten dicke Röhren beim Auskochen leichter als dünne, sind aber in manchem Falle, z. B. wenn man die Scala gleich auf die Röhre verzeichnen will, bequemer als die mit dünnen Wänden. Die Größe der Oeffnung wählt man nach der Empfindlichkeit, welche das werdende Instrument haben soll. Eine weite Röhre giebt immer ein träges Thermometer, weil sie zu viel Quecksilber enthalten muß, wenn die Grade auch nur eine mäßige Größe bekommen sollen **). Bei engen Röhren ist zwar der Stand der Quecksilbersäule schwerer zu erkennen, allein ein geübtes Auge weiß sich auch bei der feinsten Röhre zurecht zu finden, besonders wenn man das Instrument so stellt, daß der Hintergrund gegen das Quecksilber stark absteicht. Auch kann man recht empfindliche Thermometer bekommen, an denen die Quecksilbersäule selbst für ein minder geübtes Auge leicht erkennbar ist, wenn man eine Röhre wählt, deren Oeffnung einen Cylinder mit

*) Bd. V. S. 322 ff., vergl. auch Pogg. Ann. Bd. XLI. S. 144 wegen der Vergleichung beider Instrumente.

**) Offenbar wird der Fundamentalabstand je nach der Größe des unteren Quecksilbergefäßes und der Weite der Röhre verschieden ausfallen, und demgemäß werden bei den verschiedenen Instrumenten auch die Grade verschiedene Größe haben.

ovaler Vastis vorstellt, und die in einem auf ihre Aze senkrechten Querschnitt aussteht, wie nebenstehende Figur zeigt. Steht das Auge in der Richtung der kleinen Aze der Oeffnung, so hat es die Quecksilbersäule nach ihrer breiteren Seite vor sich, die selbst bei einer sehr geringen Capacität der Röhre bedeutend sein kann. Das Röhrenstück, welches man zu einem Thermometer wählt, muß gerade sein, weil man sonst die Scala nach der Röhre krümmen müßte, welches nicht ohne Schwierigkeit geschehen, und der Nichtigkeit des Instruments Abbruch thun könnte. Am wichtigsten ist es aber, daß diese Röhre allenthalben dieselbe Weite und dasselbe Caliber habe. Röhren, welche von Außen conisch zulaufen, sind auch inwendig nicht gleich weit, diese erkennt man daher leicht als unbrauchbar; allein selbst solche, an denen man von Außen keine Abweichung von der Cylindersform erkennt, haben im Innern nicht immer durchaus dieselbe Weite.

Um zu erkennen, ob eine Röhre inwendig durchaus gleich weit sei oder nicht, bringt man eine kleine Quecksilbersäule hinein, schiebt sie durch Neigen der Röhre, oder falls diese zu eng ist, durch Aufstoßen auf eine Unterlage von einem Ende zum anderen, und mißt von Stelle zu Stelle ihre Länge. Findet man diese unveränderlich, so ist die Oeffnung der Röhre cylindrisch, wo nicht, so hat sie eine andere Gestalt. Je länger diese Quecksilbersäule ist, desto merklicher wird jede kleine Abweichung von der cylindrischen Gestalt ihrer Oeffnung, allein desto leichter übersieht man nahe an einander liegende Abwechselungen im Durchmesser, deren es oft sehr viele giebt. Man soll daher, wenn man es recht genau nehmen will, jede Röhre, die man mit einer (2 bis 3 Zoll) langen Quecksilbersäule als cylindrisch befunden hat, noch einmal mit einer kurzen (etwa 1 Zoll langen) Säule prüfen. Bei dieser Arbeit kommt es sehr darauf an, daß man die Quecksilbersäule ohne Saugen in die Röhre bringe; denn durch das Saugen kommt immer etwas Feuchtigkeit hinein, welche die feineren Arbeiten erschwert und oft das Instrument unbrauchbar macht. Man verfährt am besten, wenn man die offene Röhre (3 bis 6 Z.) tief in reines Quecksilber taucht, hierauf das hervorstehende Ende mit einem Finger schließt und sie herauszieht, in welchem Falle sie gewiß eine hinreichend lange Quecksilbersäule enthalten wird, die man vor der Calibrirung noch nach Belieben durch Herauslassen eines Theiles der Flüssigkeit bis zur rechten Länge verkürzen kann. Das Messen der Quecksilbersäule an verschiedenen Stellen der Röhre verrichtet man mit einem Zirkel, oder genauer mittelst einer feinen schwarzen Scala, die auf einem Streifen Papier oder Elfenbein verzeichnet ist.

An die wohlcalibrierte Röhre wird nun eine Kugel angeblasen oder ein Cylinder angeschmolzen. Die Größe beider richtet sich nach dem inneren Durchmesser der Röhre und nach der Größe der Grade, die das Instrument erhalten soll. Künstler, welche viele Thermometer verfertigen, haben schon eine hinreichende Fertigkeit, um alle Kugeln nahe gleich dick zu machen, sie brauchen daher auch nur auf ihre äußere Abmessung zu sehen. Um diese von rechter Größe zu bekommen, haben sie an einem dünnen Bret eine Reihe runder Löcher von verschiedener Größe, die sie als Lehre brauchen, indem sie die Kugel so groß machen, daß sie gerade noch durch eines dieser Löcher geht, von welchem sie aus Erfahrung wissen, daß es bei einem gewissen Durchmesser der Röhre Grade von bestimmter Größe giebt. Man kann diese Größe der Kugel auch durch Rechnung bestimmen. Allein nicht die Rechnung, sondern die Verfertigung der Kugel, wie sie die Rechnung giebt,

ist die eigentliche Aufgabe. Selten nimmt man zu diesem Mittel die Zuflucht, weil auch selten die Größe der Grade so genau vorgeschrieben ist. Für solche Thermometer, die man zur Bestimmung der mittleren Temperatur einer Flüssigkeit braucht, welche in verschiedenen horizontalen Schichten auch verschiedene Temperaturen hat, oder bei denen die Kugel gar zu groß ausfiel, wählt man ein cylindrisches Gefäß, das von einer dünnen Glasröhre abgeschnitten und dann an die Thermometerröhre angeschmolzen wird. Beide Glasstücke müssen einerlei Mischung haben, wenn sie beim Auskühlen nicht wieder aus einander gehen sollen. Man muß bei Cylinderthermometern stets auf große Empfindlichkeit verzichten, weil der Cylinder stets dickere Wände hat, als eine Kugel. Man mag nun das Thermometer mit einem kugelförmigen oder cylindrischen Gefäße versehen, so ist es nöthig, Luft in die Röhre zu treiben, ja eine Kugel wird einzig nur durch Luft aufgetrieben; bei einem Cylinder verhütet man durch Einblasen von Luft das Zusammen sinken der Röhre dort, wo der Cylinder daran stößt. In keinem Falle soll die Luft mit dem Munde hinein geblasen werden, weil es sehr schwer hält, die Feuchtigkeit, welche dadurch in die Röhre kommt, wieder zu vertreiben, und eine enge Röhre durch eine kleine Wassersäule bald völlig gesperrt wird. Nicht viel besser ist es, jene Künstler nachzuahmen, die eine Schweinsblase am Halse mit einem Glasrohr versehen, sie mit dem Munde aufblasen, hierauf die Thermometerröhre daran fitten, und durch Drücken der Blase Luft in die Röhre treiben, weil auch diese stets feucht ist. Am zweckmäßigsten wendet man eine kleine weiche Blase aus Kautschuk an, um deren Hals man eine Glasröhre fest anbindet, die so weit ist, daß sie jede Thermometerröhre leicht aufnehmen kann. Gut ist es, wenn die Röhre am hervorstehenden Ende eine kleine trichterförmige Erweiterung hat. Eine solche Blase dehnt sich nach jedem Drucke von selbst wieder völlig aus und schöpft so die Luft unmittelbar aus der Atmosphäre. Wickelt man um die Thermometerröhre, welche die Kugel bekommen soll, weiche Papierstreifen, bis sie nur schwer in die Röhre an der Blase geschoben werden kann, hält hierauf das andere Ende der Röhre in eine gute Stichflamme, so erzeugt ein mäßiger Druck auf die Blase schon eine ziemlich große Kugel. Körner *) empfiehlt zu demselben Zwecke eine kleine Spritze, in deren Mündung die Glasröhre luftdicht eingekittet wird, und aus welcher man mittelst des Kolbens Luft in die Röhre treibt. Indes ist die Anwendung der Kautschukblase leichter.

Zum Füllen des Thermometers muß vor allem reines Quecksilber vorbereitet sein. Als rein kann man es ansehen, wenn es sich nicht an das Glas anhängt und nach etwa dreimaligem Durchlaufen durch einen engen Trichter aus geleimtem, scharf abgeschnittenen Papier, keine Unreinigkeit mehr an demselben zurückläßt. Reines Quecksilber erhält sich auch an der Luft lange mit blanker Oberfläche, unreines wird sehr bald matt und überzieht sich mit einem Oxidhäutchen. Wird es bei dieser Probe als unrein erkannt, so muß es gereinigt werden, bevor man es zum Füllen eines Thermometers braucht **).

Hat man reines Quecksilber bei der Hand, so steckt man auf die Thermometer- röhre, nachdem sie am offenen Ende mit etwas Papier umwunden worden ist,

*) Anleitung zur Verfertigung übereinstimmender Thermometer. Jena 1824.

**) Ueber die Reinigung des Quecksilbers s. Art. Barometer, Bd. I. S. 637.

einen reinen gläsernen Trichter, wofür geschickte Glasbläser wohl auch eine größern kugelförmige, in eine offene Röhre auslaufende Erweiterung anblasen, bringt Quecksilber hinein, hält die Kugel über glühende Kohlen oder über eine Weingeistflamme (weil diese die Kugel nicht berührt), treibt so einen Theil Luft heraus und zieht sie zurück, damit ein Theil Quecksilber durch den äußeren Luftdruck in die Kugel getrieben werde. Dieses Quecksilber bringt man durch abermaliges Annähern an die Flamme zum Kochen, damit die Luft gänzlich ausgetrieben und die ganze Kugel, nachdem sie vom Feuer entfernt worden, mit Quecksilber gefüllt werde. So lange das hineinfallende Quecksilber nicht bis zum letzten Augenblick an das Glas schlägt, als wenn Metall an Metall stieße, ist noch eine Luftblase in der Kugel, und zwar gewöhnlich am Halse derselben; man sieht sie aber oft nicht. In diesem Falle muß das Kochen des Quecksilbers erneuert werden. Nicht selten geschieht es, daß die Luftblase, die vertrieben werden soll, beim Erhitzen des Quecksilbers zwar mit diesem in den Trichter gelangt, aber es auch wieder beim Zurückkehren begleitet. In diesem Falle hilft oft eine kleine Erschütterung, die zur Zeit, wo die Luft im Trichter ist, an demselben angebracht wird, oder ein reiner Eisendraht, den man in den Trichter steckt, bevor man die Luftblase hinaustreibt und ihn herauszieht, sobald man glaubt, dieselbe sei in seiner Nähe. Uebrigens hat man beim Geschäft des Füllens vorzüglich zwei Punkte zu berücksichtigen: 1) soll man es immer an einem warmen Orte vornehmen, damit das in den Trichter hinaufgetriebene Quecksilber nicht zu schnell auskühle und beim Zurückkehren in die Kugel nicht die Röhre durch zu schnelles Erkalten in Stücke gehe; 2) soll man stets so viel Quecksilber im Trichter zu erhalten suchen, daß nie die letzten Tropfen in die Röhre kommen; denn diese befanden sich an der Oberfläche, wo sich stets etwas Staub anhäuft und würden denselben in die Röhre mitnehmen und sie so verunreinigen. Ist die Röhre mit Quecksilber gefüllt, so stellt man sie zur Seite, ohne den Trichter abzunehmen, damit beim Auskühlen des Quecksilbers immer noch neues von oben nachrücken könne und die Röhre, selbst bei der gewöhnlichen Temperatur, voll davon sei.

Nach diesem Verfahren enthält höchstens nur die Kugel gut gekochtes, ganz luftleeres Quecksilber, das in der Röhre hingegen ist noch nicht gekocht. Bei sehr genauen Instrumenten soll auch dieses luftleer sein. Um dieses zu bewirken, faßt man die Kugel oder den Cylinder mit einer hölzernen Zange, hält sie damit fest und bewegt die Röhre über glühende Kohlen so lange hin und her, bis das Quecksilber beinahe die Siedhize erlangt hat. Dabei wird man finden, daß sich oft namhafte Luftblasen zeigen und nach und nach herausgehen. Meistens entfernt sich mit ihnen auch etwas Quecksilber, das man nach der Hand wieder nachfüllen muß, wenn es nothwendig sein sollte. Wiewohl dieses nicht gekochtes Quecksilber ist, so ist doch der Zweck erreicht, weil durch das Erhitzen der Röhre die Luft vertrieben ist, die so stark an den Glaswänden haftet. Nach diesem Geschäft wird die Quecksilbermenge bestimmt, welche das Instrument erhalten darf, um noch den höchsten Grad, bis zu dem die Scala reichen soll, an demselben anbringen zu können. Zu diesem Behufe wird die bereits abgekühlte Röhre wieder zur Hand genommen, der Trichter entfernt und die Kugel oder der Cylinder des Thermometers in eine Temperatur gebracht, welche dem höchsten Punkt der Scala dieses Instruments entspricht, und in dieser so lange gelassen, bis kein Quecksilber mehr aus der Röhre herausgetrieben wird. Gewöhnliche Thermometer, deren Scala

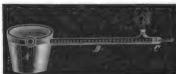
nur bis zum Siedpunkte des Wassers reicht, werden in siedendes Wasser getaucht. Weil aber nach dieser Behandlung der höchste Punkt der Scala an das Ende der Röhre zu stehen käme, so muß man nachher noch einige Quecksilbertropfen durch Erhitzen her austreiben.

Auf diese Operation folgt das *Lufstleermachen* und Schließen der Röhre, wenn man übrigens geneigt ist, ein *lufstleeres* Thermometer zu verfertigen. Zu diesem Zwecke zieht man die Röhre am offenen Ende in eine sehr feine Spitze aus, bedient sich nebst der zum Erweichen des Glases bestimmten Stichtlamme noch einer kleinen Weingrisslamme, hält diese an das Thermometergefäß, bis das Quecksilber die äußerste Spitze erreicht hat. In dem Augenblicke, wo dieses stattfindet, entfernt man die Weingrisslamme und fährt mit der Spitze der Röhre in die Stichtlamme, die alsogleich die Röhre schließt, und falls man sie länger darein hält, auch das ganze ausgezogene Röhrchen in eine kleine Kugel zusammenlaufen macht. Man hat bei dieser Arbeit vorzüglich darauf zu sehen, daß ja beim Ausziehen der Röhre die Oeffnung nicht verloren gehe. Enge Röhren schmelzen leicht ganz zu, wenn man sie ins Feuer bringt, um sie in eine feine Spitze auszu ziehen und werden dann durch die Ausdehnung des Quecksilbers zerrissen. Man beugt diesem Uebelstand leicht vor, wenn man die Röhre nicht eher in eine Spitze auszieht, als bis sie oben geschlossen ist; allein dann muß man nachher von dieser Spitze ein kleines Stüchlein abbrechen, um wieder eine Oeffnung zu bekommen.

Die Bestimmung des *Fundamentaltages* oder des *Eis-* und *Siedpunktes* geschieht, wie folgt. Den *Siedpunkt* bestimmt man entweder mittelst *Eis* oder *Schnee*. Letzterer verdient vor ersterem den Vorzug, ist aber nicht immer zu haben. Ist man genöthigt *Eis* zu wählen, so muß man es durch Zerstoßen der Schneeform näher bringen und dadurch brauchbar machen. Aber sowohl *Schnee* als *Eis* haben nur in dem Zustande eine constante, mithin zur Bestimmung des *Siedpunktes* brauchbare Temperatur, wo sie anfangen zu schmelzen, und zwar bis zu dem Zeitpunkte, wo sie mit Wasser durchzogen sind. In einem Zimmer, dessen Temperatur nur 5° bis 6° über dem *Siedpunkte* liegt, braucht es eine geraume Zeit, bis der *Schnee* oder das *Eis* die genannte Umwandlung erlitten hat und man kann innerhalb derselben leicht mehrere *Thermometer* bestimmen; bei einer höheren Temperatur geht dieses schneller vor sich. Die *Natur* des Gefäßes, die *Eis-* oder *Schneemasse*, der *Barometerstand*, die *Temperatur* des Arbeitsortes haben auf den *Siedpunkt* keinen Einfluß. Bei der Bestimmung des *Siedpunktes* hängt man nun das *Thermometer* in *Schnee* oder *Eis* und läßt es so lange darin, bis sich die *Quecksilberssäule* nicht mehr ändert und der *Schnee* die zur beabsichtigten Wirkung geeignete Beschaffenheit hat. Sobald seine Schmelzung bis zur *Thermometerkugel* vorgerückt ist, welches man am leichtesten aus dem Durchscheinen werden der *Eiskörner* in der Nähe derselben erkennt, muß die Beobachtung eingestellt werden.

Bei der Bestimmung des *Siedpunktes* hat man alle Umstände zu berücksichtigen, die auf ihn Einfluß haben, nämlich die Reinheit des Wassers, den Luftdruck, die *Natur* des Gefäßes und die Tiefe der siedenden Wasserschichten unter der Oberfläche, wo sich die Kugel befindet. Baumgartner bemerkt, er bediene sich mit Vortheil eines Gefäßes von der Gestalt der umstehenden Figur. A ist ein blecherner Kiegel, B eine Röhre, die mit der Aze des Kiegels einen etwas

stumpfen Winkel bildet. Füllt man, nachdem das Thermometer in A mit der



Kugel und in B mit der Röhre gelegt und in letzterer mittelst eines Korkstöpsels C luftdicht befestigt worden ist, so viel dephillirtes Wasser nach A, daß etwas mehr als die halbe Kugel des Thermometers darin getaucht ist, so ist alles am rechten Plage, indem immer ungefähr die eine Hälfte der Kugel im kochenden Wasser,

die andere in Wasserdampf getaucht ist, sie mag groß oder klein sein und der ganze übrige Theil der Röhre, beinahe so weit das Quecksilber reicht, von Dämpfen umgeben ist, die erst gegen das Ende der Röhre B durch einen verticalen, röhrenförmigen Ansaß ihren Ausgang finden. Uebrigens findet man durch eine einzige Beobachtung die Lage des Siedpunktes nie scharf genug. Es ist dazu eine Reihe solcher schnell hinter einander folgenden Beobachtungen nöthig, aus denen, wenn sie eine Verschiedenheit im Resultate geben, das Mittel genommen werden muß. Man braucht dasselbe Gefäß, womit man den Siedpunkt bestimmt, auch mit Vortheil zur Bestimmung des Eispunktes und hat da nicht zu besorgen, daß er zu hoch zu stehen komme, wie es bei dem gewöhnlichen Verfahren geschieht, wo stets ein Theil der Quecksilbersäule sich außerhalb des Eises befindet und daher eine zu hohe Temperatur hat. Es ist klar, daß man, falls obiges Gefäß auch zu diesem Zwecke gebraucht wird, nicht bloß den Tiegel A, sondern auch die Röhre B mit klein zerstoßenem Eis anfüllen muß. — Man thut übrigens gut, wenn man zuerst den Siedpunkt und hierauf, aber sogleich, den Eispunkt bestimmt, und jeden vorläufig mit etwas Lusche oder mit in Weingeist aufgelöstem Siegelack anmerkt. Die Bezeichnung mittelst eines feinen Fadens, wie sie gewöhnlich zu geschehen pflegt, ist nicht anzurathen, theils weil der Faden leicht verschoben wird, theils weil er bei dem Hin- und Herschieben, das er erleiden muß, bis er an den rechten Platz kommt, leicht eine gegen die Axe der Röhre schiefe Lage erhält und daher Irrthum veranlaßt, theils weil er wegen seiner selten ganz gleichförmigen Dicke keine scharfe Bestimmung eines Punktes gestattet. Manche Künstler merken die Fundamentalepunkte mittelst eines Feilstriches an. Allein so sehr man auch dadurch gegen eine etwaige Verrückung gesichert ist, so ist diese Methode doch bei Thermometern nicht anzurathen, die einem starken Wechsel der Temperatur schnell ausgesetzt werden müssen, weil sie an den so bezeichneten Stellen leicht abspringen. Bei Instrumenten, welche zu sehr genauen Untersuchungen tauglich sein sollen, geben aber alle diese Mittel keine hinreichende Genauigkeit. Da ist es unerlässlich, an der Thermometerröhre eine in sehr kleine, übrigens in beliebige Theile abgetheilte Silberscala vorläufig zu befestigen und an ihr den Stand des Quecksilbers sowohl bei der Bestimmung des Sied- als des Eispunktes abzulesen und anzumerken.

Man hat in neuerer Zeit vielfach den Punkt besprochen, ob ein luftleeres Thermometer nicht durch den äußeren Luftdruck eine Aenderung der inneren Capacität erleide, wodurch die Fundamentalepunkte verrückt und die Anzeigen solcher Instrumente unrichtig würden. Dellani *) hat zuerst gefunden, daß der möglichst

*) Bibl. univ. T. XXI. p. 252 u. 330; Brugnatelli, Giorn. di Fis. T. XV. p. 268. Ueber v. Pellin f. Kastner's Archiv. Bd. III. S. 109; über Marcet und de la Rive

genau bestimmte Siedpunkt nach etwa einem Jahre dem Siedpunkte näher gerückt erscheine, und glaubte die Ursache dieser Erscheinung in der gewaltsamen Ausdehnung des Glases zu finden, die es beim Füllen des Thermometers erleidet, welche Ausdehnung sich erst nach Langem wieder verliert und das natürliche Volumen zurückkehren läßt.

Flaugergues fand aber, daß nur luftleere und geschlossene Instrumente dieser Veränderung unterliegen, woraus zugleich folgt, daß Bellani's Ansicht irrig sei. Mehrere deutsche und französische Physiker, wie Delin, Marcet und De la Rive, haben dasselbe gefunden. Neuestens hat R. v. Bürg an den von ihm selbst mit besonderer Sorgfalt verfertigten, ungemein empfindlichen Thermometern die Siedpunkte, welche vor 10 bis 12 Jahren bestimmt worden waren, untersucht, und sie ohne Ausnahme um $\frac{1}{4}^{\circ}$ bis $\frac{1}{3}^{\circ}$ Réaumur zu hoch gefunden, bis auf ein Instrument, das nicht luftleer war, an welchem auch der Siedpunkt am rechten Plage sich befand. Die Ursache dieser Verrückung des Siedpunktes liegt also ohne Zweifel darin, daß durch den äußeren Luftdruck die Capacität der Kugel vermindert wird. Anfangs wirkt diesem die Elasticität des Glases entgegen, allein mit der Zeit vermindert sich diese Kraft und die Wirkung des Luftdruckes tritt sichtbar ein. Darum soll man genaue Thermometer entweder gar nicht luftleer machen, oder ihren Siedpunkt von Zeit zu Zeit wieder bestimmen. Da sich in offenen Thermometern das Quecksilber leicht oxydirt, oder von Staub verunreinigt wird, so ein solches bei weitem nicht so leicht ohne Schaden transportirt werden kann, wie ein geschlossenes, so ist es immer räthlicher, das zweite Mittel zu wählen und es insbesondere vor jeder genauen Untersuchung, die man mittelst des Thermometers anstellen will, anzuwenden. Egen hat bei einer sehr genauen Untersuchung über Thermometer noch eine andere Verrückung des Siedpunktes entdeckt, welche eintritt, so oft man das Instrument stark erhitzt und die in einer Depression des Siedpunktes besteht, mithin bei der Bestimmung des Siedpunktes stets eintritt. Diese Verrückung ist bei verschiedenen Instrumenten und einerlei Erhitzung verschieden, sie betrug bei Egen's Versuchen im Maximo $0^{\circ},203$, im Minimo $0^{\circ},007$. Oftmaliges, schnell hinter einander erfolgendes Erhitzen wirkt auch stärker als einmaliges, jedoch beträgt die Verrückung bei jeder folgenden Erhitzung immer weniger. Längere oder kürzere Dauer der Erwärmung macht keinen Unterschied in dieser Wirkung, bei langsamem Erkalten ist die Verrückung des Siedpunktes sehr gering. Auf diese Verrückung muß man bei der Bestimmung des Siedpunktes stets Rücksicht nehmen. Berzon *) beobachtete sogar eine Erhöhung des Nullpunktes von 15° bis 20° C. Indem er bei 440° C. arbeitete und diese Temperatur mehrere Stunden lang anhielt, zeigte sich eine Erhöhung von 12, 15 und 17 Graden. Außerdem machen wir noch auf die Untersuchungen von Legendre und von Despretz **) aufmerksam, nach welchen der Nullpunkt erst nach längerer Zeit seine größte Erhebung erreicht und auch die Glasart von Einfluß ist.

f. Bibl. univ. T. XXII. p. 265; über Bürg f. Wiener Zeitschrift Th. III. S. 18; über Egen f. Pogg. Ann. Bd. IX. S. 349; Bd. XIII. S. 38.

*) Compt. rend. T. XIX. p. 1314. Pogg. Ann. Bd. LXV. S. 370.

**) Ersterer in Ann. de Chim. et de Phys. T. LXIII. p. 368, Letzterer ebenda T. LXIV. p. 312.

Nach Bestimmung des Fundamentalabstandes kommt die Reihe an die Verrfertigung und Theilung der Scalen. Zur letzteren Arbeit bedient man sich meistens einer Theilmaschine. Obwohl es deren sehr viele giebt, so dürfte doch wohl keine bequemer sein, und schneller eine so richtige Abtheilung bewirken, als die in beistehender Figur abgebildete. AB ist ein zwei Fuß langes, zwei Zoll breites und etwa einen halben Zoll dickes vierkantiges Brett, wie ein Lineal, das zu beiden Seiten links und rechts Messingplatten hat. Auf einer Seite befinden sich



Schrauben a und b, um ein messingenes Lineal, das eine in beliebige, aber gleich große Theile getheilte Scala trägt und das man auf AB legt und an den hervorstehenden Rand c d anstemmt, festklemmen zu können. Die genannte Scala ist gleichsam der Etalon, nach welchem alle anderen getheilt werden und es ist gut, deren mehrere mit größeren und kleineren Abtheilungen in Bereitschaft zu haben. In B ist AB mittelst eines Charniers mit einem anderen Lineale BC verbunden. Der Winkel ABC läßt sich vergrößern und verkleinern und in jeder Größe mittelst des Bogens D unverändert erhalten, welcher Bogen mit AB fest vereinigt ist, auf dem BC sich verschieben

läßt und der mittelst einer an der unteren Seite von BC angebrachten Stellschraube befestigt werden kann. Beide Lineale ruhen auf drei etwa zwei Zoll hohen Füßchen. Außer den bereits genannten Stücken gehört zu diesem Theilapparate auch noch eine Art Winkelhaken EFG mit veränderlichem Winkel. Der Schenkel EF hat an der unteren Fläche der Länge nach einen Einschnitt, in welchem der hervorragende Rand c d des Stückes AB genau paßt, und in welchem EF längs AB verschoben werden kann, ohne eine Seitenbewegung annehmen zu können, dann ein hervorstehendes Plättchen H mit einer feinen auf EF senkrechten Linie. Das Lineal G muß wenigstens 30 Zoll lang sein, es ragt daher weit über BC hinaus, wenn EF auf c d gelegt ist. Damit es sich nicht biege, hat es am Ende einen kleinen Fuß mit einer leicht beweglichen Frictionsrolle. Will man nun mit diesem Instrumente eine Thermometerscala theilen, so befestigt man das Scalen-Material mit bezeichneten Fundamentalpunkten auf BC, lege EF auf AB so, daß die Kante auf den Rand c d paßt und ändere den Winkel, welchen IG mit CF macht, so, daß IG auf CB senkrecht steht, verschiebe EF, bis IG dem einen Fundamentalpunkt der Scala entspricht, lege eine Hülfscala auf AB so, daß ihr Oter Theilstrich mit der Linie H zusammenfällt und klemme sie dann mittelst der Schrauben a b fest. Hierauf verschiebe man EF, bis IG den zweiten Fundamentalpunkt abschneidet und sehe, welcher Punkt der Hülfscala der Linie H entspricht. Trifft es sich, daß dieser gerade der 80ste, oder 100ste, oder mte Theilstrich ist, so ist alles in Ordnung, falls man den Fundamentalabstand in 80, 100 oder m Theile theilen will. Man braucht dann nur EF um so viel weiter zu rücken, daß H von Theilstrich zu Theilstrich geht und bei jedem Stande, wo H einem Striche der Hülfscala entspricht, mittelst eines Instrumentes auf der abzutheilenden Scala längs IG einen Theilstrich zu ziehen. Findet aber obige Uebereinstimmung nicht statt, so muß man den Winkel ABC so lange ändern und immer wieder IG senkrecht auf CB stellen, bis sie erreicht ist. Ein etwas geübter Künstler vollendet diese Arbeit,

nebst der Theilung, bei einem gewöhnlichen Thermometer in weniger als einer Stunde.

Das hier angegebene Verfahren setzt voraus, daß der Siedpunkt durch eine Reihe von Beobachtungen bestimmt worden ist, bei denen der Normalluftdruck stattgefunden hat, als welchen man am zweckmäßigsten nach (Eggen's*) Vorschlag und der Bestimmung mehrerer achtbaren Gelehrten 0,76 Meter nimmt. Herrscht bei der Bestimmung dieses Punktes ein anderer Luftdruck, so muß man den Fundamentalabstand vor der wirklichen Theilung corrigiren. Bei Thermometern, die keine besondere Genauigkeit haben dürfen, geschieht dieses dadurch, daß man den Fundamentalabstand für jeden Millimeter, um welchen das Barometer über 0,76 M steht, um 0,000352 vermindert, oder wenn er sich darunter befindet, vermehrt. Soll eine große Schärfe erlangt werden, so muß man bei jedem Thermometer die Verrückung des Siedpunktes, die eine bestimmte Aenderung des Luftdruckes erzeugt, dadurch bestimmen, daß man die Lage des Siedpunktes durch mehrere bei verschiedenem Luftdrucke statt habende Beobachtungsreihen ausmittelt. Hat man diese Veränderung gefunden, so kann man die deshalb nothwendige Correction des Fundamentalabstandes mit derselben Theilmachine anbringen, von welcher vorhin die Rede war. Man verfährt nämlich mit dem unmittelbar gefundenen Fundamentalabstande so, als wollte man ihn in 100 gleiche Theile theilen, und findet so $\frac{1}{100}$ desselben. Diese Größe theilt man mittelst des Augenmaßes oder mittelst eines Zirkels leicht in so viele Theile, als die Correction fordert, und bestimmt so das Stück dieses Abstandes, um das er vergrößert oder verkleinert werden muß. Hat man den corrigirten Siedpunkt gefunden, so beginnt man das Geschäft der Theilung von Neuem, wie vorhin gelehrt wurde. Wie die Scala weiter ausgefertigt und mit dem Instrumente zu einem Ganzen verbunden wird, sieht obnehin Jedermann leicht ein. Es ist darum gar nicht nöthig mehr darüber zu sagen.

Die bisher besprochene Weise, Thermometer zu verfertigen, setzt Röhren voraus, welche der ganzen Länge nach gleich weit sind; man ist aber manchmal gezwungen, ungleich weite Röhren zu Thermometern zu verwenden, und muß deshalb einige Punkte im bisher angegebenen Verfahren abändern und sich einer ziemlich mühsamen Arbeit unterziehen, für die man aber dadurch reichlich belohnt wird, daß man besonders gute Instrumente erhält. Diese Arbeit besteht in der Bestimmung der Länge solcher Röhrenstücke, die bei ungleicher Weite doch ein gleiches inneres Volumen haben, und wird nach der von Gay-Lussac zuerst angegebenen, von Rörner vereinfachten Methode folgendermaßen vollzogen: Man verfertige sich einen Maßstab AB (s. umstehende Figur), der in beliebige, aber gleich große Theile getheilt ist und einen Nonius hat, der noch Theile von etwa $\frac{1}{1000}$ Zoll genau mißt, befestige ihn an ein Bret und bringe daneben die Glasröhre CD an, deren innerer Raum in Theile von gleichem Inhalte getheilt werden soll. An diese Röhre wird eine kleine Pumpe E luftdicht befestigt, die mit einem Wechselhahne C versehen ist. Man bringe durch Zurückziehen des Kolbens der Pumpe eine Quecksilbersäule ab in die Röhre, deren Länge so gering ist, daß man sie für cylindrisch halten kann, bezeichne das Ende a derselben mit einem feinen Feilenstriche oder auf irgend eine andere Weise, messe ab sehr genau mittelst des Nonius und ver-

*) Pogg. Ann. Bd. XI. S. 286.



zeichne diese Länge in einem eigenen Register. Hierauf glebe man den Pumpenkolben von Neuem zurück, damit die Quecksilbersäule genau um ihre ganze Länge fortrücke und der Punkt *a* nach *b* falle. Gesezt, sie habe hier die Länge *b c*, die von *a b* verschieden sein kann. Man messe nun *b c*, notire den gefundenen Werth, verschiebe den Pumpenkolben von Neuem, damit das Quecksilber von *b c* in die Lage *c d* versetzt werde, messe *c d* wieder und fahre so fort, bis die Säule durch ein Röhrenstück getrieben worden ist, dessen Länge dem zu verfertigenden Thermometer gleich ist. Kommt man in der Zwischenzeit mit dem Kolben ans Ende, so dreht man den Wechselhahn, damit die in der Pumpe enthaltene Luft mit der äußeren communicire, drückt den Kolben hinab, damit die Luft ausgetrieben werde und stellt wieder die erste Communication her. Ist diese Operation durch die ganze Röhre vollzogen, so bläst man die Kugel an die Röhre so, daß *a* nahe an ihr liegt, füllt sie *z.*, bestimmt den Eis- und Siedpunkt und merkt jeden derselben an der Röhre an. Hierauf zeichnet man eine Scala genau so, daß ihre Theilstriche mit den früher an der Röhre bestimmten Punkten *a*, *b*, *c*, *z.* zusammenfallen, bezeichnet *a* mit 0, die folgenden aber mit den natürlichen Zahlen 1, 2, 3 *z.*, ohne auf den Eis- oder Siedpunkt Rücksicht zu nehmen, und bringt diese Scala an der Röhre gehörig an. Kommen die Theilstriche weit genug von einander zu stehen, so kann man jeden Grad in mehrere gleiche Theile theilen, und allenfalls jeden solchen Theil als Ganzes gelten lassen, so daß, wenn *z. B.* *a b* in fünf Theile getheilt würde, zu *b* die Zahl 5 zu stehen käme. Man sieht leicht ein, daß man auf diese Weise den Fundamentalabstand nicht nach einer der be-

kannten Scalen abgetheilt erhält, sondern daß dieses eine ganz besondere Scala ist, die man erst auf die Celsius'sche, Réaumur'sche *z.* reduciren muß. Die Reduction wird wie jede andere vollzogen. Man sieht nämlich, wie viele Grade der künstlichen Scala zwischen den Eis- und Siedpunkt fallen, wobei natürlich auch Bruchtheile von Graden vorkommen und vergleicht sie mit der Anzahl Grade, die von einer der gewöhnlichen Scalen in den Fundamentalabstand fallen. Hat man *z. B.* an der künstlichen Scala zwischen dem Eis- und Siedpunkte *N* Grade, so entsprechen *n* solche Grade $\frac{100 n}{N}$ der Celsius'schen Scala. Es ist klar, daß man

sich die Grade solcher ein für alle Mal berechnen und wohl auch die Scala so bezeichnen kann, daß keine weitere Reduction mehr nöthig ist.

Rudberg und Svanberg *) haben ein Mittel mitgetheilt, ein nach Bestimmung der Fundamentalpunkte bis auf die Scala fertiges Thermometer genau zu graduiren. Sie bedienen sich dazu, wie gewöhnlich, eines abgetrennten Quecksilberfadens, den sie noch so lang lassen, daß er auch in engen Röhren leicht verschoben werden kann. Denselben bekommt man von der gerade zweckdienlichen Länge, wenn man eine Stelle der Röhre erhitzt, darauf die Kugel erwärmt, bis der erforderliche Faden über die Stelle gegangen ist, und nun die Röhre neigt,

*) Pogg. Ann. Bd. XL. S. 39 u. 362.

wobei die Trennung immer an dem erhitzten Orte erfolgt. Sind also der Gefrier- und der Siedepunkt der Röhre auf die herkömmliche Weise bestimmt, und ist das Thermometer auf einer genau, aber beliebig eingetheilten Scala befestigt, so trennt man einen Faden, der so genau als möglich die Hälfte der Röhre von 0° bis 100° einnimmt, stellt sein unteres Ende auf 0 ein und notirt den Theilstrich, auf welchem das obere Ende steht; hierauf bringt man dies auf 100 und notirt den Stand des unteren Endes. Der 50. Grad liegt in der Mitte der beiden Notirungen, da überall nur ziemlich gleich weite Röhren gebraucht werden. Ein Faden ferner, der nahe $\frac{1}{3}$ des Fundamentalabstandes lang ist, bestimmt durch Einstellen seines unteren Endes auf 0, dann auf den Stand des oberen Endes, also durch seine Verdoppelung von 0 ab, und durch Einstellen seines oberen Endes auf 100 den dritten Theil der Röhre. Zur Controle kann man die Verdoppelung des Fadens von 100 ab nehmen. Den sechsten Theil der Röhre bekommt man hierauf durch Einstellen desselben Fadens von 50 ab, und eben so geben Fäden von $\frac{5}{12}$, $\frac{11}{24}$, $\frac{23}{48}$ etc. Länge die weiteren Einteilungen in 12, 24, 48 etc. gleiche Theile. Da der Faden nicht immer genau die rechte Länge hat, so ist noch Folgendes zu beachten. Will man z. B. den Fundamentalabstand in drei gleiche Theile theilen, so erhält man durch Verdoppelung der Fadenlänge, indem man den Anfang desselben, der auf 0 stand, an das Ende bringt, zwei Drittel der Länge plus oder minus einer unbekannten Größe, um deren Doppeltes die Quecksilbersäule größer oder kleiner ist als das richtige Drittel. Wenn man nun das Ende der Säule auf 100° bringt und sich darauf die Stelle des Anfangs merkt, so ist der dritte Theil des Abstandes zwischen dieser und der zuvor gefundenen Stelle die gesuchte Größe. Ähnlich verfährt man in den anderen Fällen.

Bei der Verfertigung der Weingeistthermometer wird im Allgemeinen so verfahren, wie bei Quecksilberthermometern; nur in Wenigem weichen beide Verfahren von einander ab. Schon bei der Auswahl der Röhren muß man wissen, daß sich Weingeist bei demselben Temperaturwechsel stärker ausdehnt als Quecksilber, und daß daher für dieselbe Empfindlichkeit weitere Röhren gebraucht werden können, ohne ihnen größere Gefäße geben zu dürfen. Ferner muß der Weingeist, der stets hinreichend concentrirt sein soll, gefärbt werden, damit man seinen Stand desto leichter wahrnehmen kann. Am dauerhaftesten geschieht dies mit Safran, wiewohl man dadurch keine besonders schöne Farbe zu Stande bringt. Die Färbung mit Ochsenzunge ist nicht zu empfehlen, weil diese Farbe im Sonnenlichte schwarz wird. Für jeden Fall ist es nothwendig darauf zu sehen, daß man nicht frisch gefärbten Weingeist wählt, weil dieser meistens noch etwas in der Kugel der Röhre absetzt. Das Füllen mit Weingeist geht leichter vor sich, als das mit Quecksilber, allein wenn man die Röhre luftleer gemacht hat, so steigen oft lange Zeit hindurch noch aus dem Weingeiste Blasen auf, die entfernt werden sollen. Darum muß man manchmal die Röhre wieder öffnen, und sie von neuem luftleer machen. Bei der Bestimmung des Siedpunktes muß man recht wohl darauf sehen, daß man ihn nicht zu tief anmerke. Dieses geschieht gar leicht, wenn man zur Bestimmung desselben schreitet, ohne zuvor das Thermometer in einer dem Siedpunkte nahen Temperatur in aufrechter Stellung einige Stunden stehen zu lassen. Vernachlässigt man nämlich letztere Voricht und taucht die Röhre schnell in Eis, so bleibt hinter der sinkenden Weingeistsäule etwas Flüssigkeit an der Röhrenwand hängen, und fehlt dann an der Länge der Säule. Ein luftleeres Weingeist-

thermometer erträgt oft die Siedehitze des Wassers, weil sich im luftleeren Raume oberhalb des Weingeistes Dünste erzeugen, die durch ihren Druck den Siedepunkt des Weingeistes erhöhen.

Ein Weingeistthermometer kann nur an den zwei unmittelbar bestimmten Punkten mit einem Quecksilberthermometer übereinstimmen, in den anderen Theilen der Scala weichen beide von einander ab, weil sich nicht beide Flüssigkeiten nach demselben Gesetze ausdehnen. Wildt *), De Luc, Lüz u. haben diese beiden Instrumente mit einander verglichen und die Resultate gefunden, welche die nachfolgende Tabelle enthält.

Grade des Queck- silber- thermo- meters R.	Übereinstimmende Grade des Weingeistthermometers			Grade des Queck- silber- thermo- meters R.	Übereinstimmende Grade des Weingeistthermometers		
	nach Wildt	nach De Luc	nach Lüz		nach Wildt	nach De Luc	nach Lüz
80	80,00	—	80,00	15	12,14	12,20	12,20
75	73,90	73,80	73,80	10	7,95	7,90	7,90
70	67,95	67,80	67,80	5	3,90	3,90	3,90
65	62,14	61,90	61,90	0	0,00	0,00	0,00
60	56,48	56,20	56,10	— 5	3,75	—	3,9
55	50,97	50,70	50,40	10	7,36	—	7,6
50	45,60	45,30	44,90	15	10,82	—	11,2
45	40,38	40,20	39,60	20	14,13	—	14,5
40	35,31	35,10	34,70	25	17,30	—	—
35	30,38	30,30	29,90	30	20,32	—	—
30	25,60	25,60	25,30	35	23,19	—	—
25	20,97	21,00	20,90	40	25,92	—	—
20	16,48	16,50	16,50	45	28,50	—	—

Nach diesem Resultate ist folgende Reductionstabelle berechnet.

80-theil. Wein- geistther- mometer	80-theil. Quecksilberthermometer nach			80-theil. Wein- geistther- mometer	80-theil. Quecksilberthermometer nach		
	De Luc	Lüz	Wildt		De Luc	Lüz	Wildt
— 20			— 29,54	— 9		— 11,91	— 12,35
19			27,86	8		10,53	10,93
18			26,18	7		9,16	9,51
17			24,51	6		7,81	8,13
16			22,92	5		6,46	6,75
15		— 20,69	21,33	4		5,13	5,37
14		19,15	19,74	3		3,84	4,00
13		17,61	18,24	2		2,56	2,66
12		16,07	16,74	1		1,28	1,33
11		14,68	15,24	0		0,00	0,00
10		13,29	13,78				

*) Kastner's Archiv. 1825. Decbr.

80-theil. Wein- geistther- mometer	80-theil. Quecksilberthermometer nach			80-theil. Wein- geistther- mometer	80-theil. Quecksilberthermometer nach		
	De Luc	Luz	Widt		De Luc	Luz	Widt
+ 1	+ 1,29	+ 1,29	+ 1,29	+ 41	+ 45,76	+ 46,39	+ 45,42
2	2,57	2,57	2,57	42	46,74	47,32	46,48
3	3,85	3,85	3,85	43	47,72	48,25	47,44
4	5,13	5,13	5,13	44	48,69	49,18	48,39
5	6,38	6,38	6,37	45	49,66	50,11	49,34
6	7,63	7,63	7,61	46	50,58	50,00	50,26
7	8,87	8,87	8,85	47	51,49	51,89	51,18
8	10,11	10,11	10,09	48	52,40	52,78	52,10
9	11,27	11,27	11,28	49	53,32	53,67	53,02
10	12,43	12,43	12,46	50	54,24	54,56	53,95
11	13,59	13,59	13,74	51	55,17	55,45	54,88
12	14,75	14,75	14,82	52	56,10	56,34	55,81
13	15,91	15,91	15,97	53	57,03	57,23	56,73
14	17,07	17,07	17,12	54	57,95	58,12	57,65
15	18,23	18,17	18,27	55	58,87	59,01	58,57
16	19,39	19,32	19,41	56	59,79	59,89	59,49
17	20,52	20,47	20,54	57	60,68	60,76	60,38
18	21,64	21,62	21,67	58	61,57	61,63	61,27
19	22,76	22,77	22,79	59	62,46	62,50	62,16
20	23,88	23,92	23,91	60	63,34	63,37	63,05
21	25,00	25,07	25,03	61	64,22	64,24	63,95
22	26,08	26,22	26,10	62	65,12	65,11	64,85
23	27,15	27,36	27,17	63	65,93	65,93	65,68
24	28,22	28,50	28,23	64	66,74	66,74	66,51
25	29,29	29,64	29,29	65	67,55	67,55	67,34
26	30,37	30,74	30,35	66	68,36	68,36	68,18
27	31,45	31,84	31,41	67	69,18	69,18	69,02
28	32,52	32,93	32,47	68	70,03	70,03	69,86
29	33,59	34,02	33,53	69	70,87	70,88	70,70
30	34,66	35,11	34,59	70	71,71	71,71	71,54
31	35,70	36,15	35,00	71	72,55	72,55	72,38
32	36,75	37,19	36,62	72	73,39	73,39	73,22
33	37,80	38,23	37,63	73	74,23	74,28	74,07
34	38,85	39,27	38,64	74	75,08	75,03	74,92
35	39,89	40,31	39,65	75	75,90	75,90	75,77
36	40,87	41,34	40,64	76	76,72	76,72	76,62
37	41,85	42,37	41,63	77	77,54	77,54	77,47
38	42,83	43,40	42,61	78	78,36	78,36	78,32
39	43,81	44,43	43,59	79	79,18	79,18	79,16
40	44,78	45,43	44,57	80	80,00	80,00	80,00

Ueber die richtige Construction von Weingeistthermometern, die mit absolutem Alkohol gefüllt sind (wässriger Weingeist hat eine ganz unregelmäßige Ausdehnung), finden sich in Fechner's Repertorium *) folgende Bestimmungen. Wenn das Volumen des Alkohols 0° C. = 1 gesetzt wird, so ist es mit Weglassung der höheren Decimalstellen bei 1° = 1,00099, welches von 1,001 um eine unmeßbare Größe abweicht; bei 2° ist dasselbe = 1,00199 und es wächst also hier genau um 0,001, und eben so bei 3°, indem es hier = 1,00299 ist.

*) Bd. II. S. 441.

Setzt man also ohne Rücksicht auf die verschwindenden Differenzen der höheren Decimalstellen $0,00099 = 0,001$; $0,00199 = 0,002$ und $0,00299 = 0,003$, so wächst das Volumen für 1°C. um $0,001$ der Einheit, und dieses geht in Beziehung auf nicht mehr als drei Decimalstellen regelmäßig fort bis 24° , wo das Volumen um $0,025$ vermehrt ist. Wird dieser Unterschied bei einem empirisch graduirten Thermometer (— die empirische Graduirung geschieht bekanntlich so, daß der Verfertiger auf der Scala des Weingeistthermometers durch Vergleichung mit einem sorgfältig geprüften Normalquecksilberthermometer das Intervall zwischen etwa 0° und 40° oder 50°C. bezeichnet und durch Unterabtheilung dieses Intervalles in gleiche Theile die Grade des Instrumentes bestimmt —) auf alle durchlaufenen Grade vertheilt, so beträgt er für jeden einzelnen Grad $\frac{1}{22}$ stel oder ungefähr $0,05$ eines Grades, eine auf gewöhnliche Weise nicht wahrnehmbare Größe. Hieraus ergibt sich also, daß ein solches Weingeistthermometer bis mindestens 25°C. mit einem Quecksilberthermometer völlig zu harmoniren scheinen kann. Wäre ein Weingeistthermometer bis zu 70°C. nach der Voraussetzung einer von 0° an gleichförmig erfolgenden Ausdehnung graduirt, und würde hierbei für 1°C. die bei niederen Graden wirklich genaue Ausdehnung $= 0,001$ des bei 0° stattfindenden Volumens zu Grunde gelegt, so würde das Weingeistthermometer $54^\circ,4$ zeigen, während das Quecksilberthermometer bloß 50° zeigte, und $79^\circ,3$ zeigen, während das Quecksilberthermometer bloß 70° zeigte. Ein für niedere Grade über 0° richtig graduirtes Weingeistthermometer muß daher weiter hinauf viel zu hohe Anzeigen geben.

Für die Grade unter dem Gefrierpunkte des Wassers muß eine ähnliche Abweichung stattfinden, und hier ist sie ungleich wichtiger, weil die Weingeistthermometer ganz eigentlich zur Bestimmung hoher Kältegrade benutzt werden. Wird also für -1°C. die Volumensänderung $= 0,001$ angenommen, so muß das Volumen, dieses bei $0^\circ \text{C.} = 1$ gesetzt, $= 1 - 0,001 = 0,9990$ werden, welches merklich genau mit dem Werthe der Tabelle für Weingeist übereinstimmt, doch ist die Verminderung etwas geringer, indem das Volumen nach der Tabelle $0,99901340$ ist. Wird dieser Unterschied vernachlässigt, also unter der Voraussetzung, daß die Theilung der Scala nach den Graden nahe über dem Gefrierpunkte des Wassers gemacht wäre, wo sie sehr genau $0,001$ des Volumens für 1°C. betragen würde, so müßte unter Voraussetzung einer gleichmäßigen Zusammenziehung des Alkohols dies Volumen bei -50°C. genau $1 - 0,05$, also $0,95$ betragen. Statt dessen aber giebt die Tabelle, mit Weglassung der höheren Decimalstellen, $0,965$ und da die Grade der Scala der Volumensverminderung parallel gehen, so folgt, daß die Temperatur $51^\circ,5 \text{C.}$ betragen muß, wenn das Weingeistthermometer 50° zeigt. Wäre aber ein solches Weingeistthermometer auf diese Weise graduirt, daß man den Stand des Weingeistes bei 0°C. und bei $+50^\circ \text{C.}$ (des Quecksilberthermometers) beobachtet und die hiernach bestimmte Länge der Scala für 50° auf den unter 0°C. liegenden Theil derselben aufgetragen hätte, wie es gewöhnlich bei empirischer Graduirung derselben geschieht, so kämen zu jenen $1^\circ,5$ noch $5^\circ,4$ und die wahre Temperatur würde also $-56^\circ,9 \text{C.}$ sein, wenn die Scala -50° zeigte. Hieraus ergibt sich von selbst, daß Weingeistthermometer, welche auf die gewöhnliche empirische Weise graduirt sind, weder in den höheren noch den niederen Graden richtig sein können.

Es giebt allerdings Mittel zu einer richtigen Theilung der Scalen für Weingeistthermometer, deren praktische Ausführbarkeit aber großen Schwierigkeiten unterliegt. So könnte man die Zehntel und allenfalls die Hundertstel der Scalentheile auf einem Maßstabe mittelst der Transversallinien oder eines Nonius auftragen, und nach der Tabelle die Grade mit Rücksicht auf die stets wachsenden Incremente des Volumens bestimmen. Ungleich schwieriger würde es sein, die der Gleichung für die Ausdehnung des Weingeistes zugehörige Curve für ein zu theilendes Thermometer zu zeichnen und hiernach die Theilung aufzutragen. Es bleibt daher am einfachsten und leichtesten, die genau calibrirten Weingeistthermometer auf folgende Weise empirisch zu theilen. Man bestimme genau den Nullpunkt des zu graduirenden Thermometers und dann den Stand des Weingeistes nach einem geprüften Quecksilber-Normalthermometer von 20 zu 20 Graden oder größerer Genauigkeit halber von 10 zu 10 Graden, und theile die Zwischenräume in gleiche Theile, so wird die Abweichung der Scala von einer absolut richtigen unmerklich sein. Da aber dies Verfahren für die Grade unter dem Gefrierpunkte des Wassers nicht wohl anwendbar ist, so würde es am gerathensten sein, den Stand des Weingeistes bei -20° C. genau zu bestimmen, die zwischen diesem und dem Gefrierpunkte des Wassers befindliche Länge bis -40° C. und dann bis -60° aufzutragen und in gleiche Theile zu theilen, denn in diesem Falle würde die Abweichung von der absolut richtigen Scala beim Gefrierpunkte des Weingeistes nicht mehr als etwa 1° C. betragen.

Ist der Künstler im Besitze einer genauen und hinlänglich feinen Theilmachine, so läßt sich die Scala mit aller erforderlichen Schärfe auf folgende Weise auftragen. Es sei der Stand des Weingeistes bei 0° und bei 10° C. vollkommen genau bestimmt. Sieht die Maschine, welche mit einer Mikrometerschraube versehen sein möge, für diese Länge der Scala m Umdrehungen, so gehören zu 1 Grade $\frac{m}{10}$ Umdrehungen. Es zeigt aber der Anblick der Tabelle, daß der zehnte Grad um 0,16 der einfachen Volumenzunahme durch Summirung der Incremente jedes einzelnen der 10 Theile zugenommen hat, wenn die höheren Decimalstellen für die einzelnen Grade vernachlässigt werden. Hiernach geben $\frac{m}{10} (1 - 0,016) =$

$0,984 \frac{m}{10} = n$ Umdrehungen die gesuchte Einheit, womit sich die Theilung für Grade über und unter dem Gefrierpunkte auf folgende Art bewerkstelligen läßt:

Für Grade über 0° C.

1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
n (0,99;	2;	3;	4;	5,01;	6,03;	7,06;	8,09;	9,12;	10,15.)....

Für Grade unter 0° C.

— 1°	— 2°	— 3°	— 4°	— 5°	— 6°....
n (1—0,01;	2—0,03;	3—0,05;	4—0,09;	5—0,13;	6—0,18.)....

und auf gleiche Weise nach der Anleitung der berechneten Tabelle, welche auch namentlich für verneinte Grade leicht noch weiter fortgesetzt werden könnte, wenn

man es für diesen Zweck nöthig fände. Es versteht sich von selbst, daß man hierbei allezeit vom Anfangspunkte rechnen muß, so daß also für 10 Grade über 0 im Ganzen 10,16 n, und für 8 Grade unter 0 überhaupt n (8 — 0,18) Umdrehungen gemacht sind. Die Ausdehnung und Zusammenziehung des Glases macht hierbei keine Schwierigkeiten; denn da dieselbe entweder überhaupt oder mindestens innerhalb der hierbei erforderlichen Grenzen merklich gleichmäßig ist, so wird hiernach die Säule des Weingeistes im Rohre des Thermometers bis zu den gemessenen 10 Graden um eben so viel kürzer, als die nächstfolgende von 10° bis zu 20° C. und so fort, so daß also die Correction schon in der ursprünglichen Messung enthalten ist. Noch vollständiger aber läßt sich diese Correction dadurch erhalten, wenn der Künstler die festen Punkte bei 0° und 50° C. bestimmt, und die oben angegebene Methode der Scalentheilung befolgt.

In der Anfertigung der Thermometer haben sich in neuester Zeit namentlich ausgezeichnet Walferdin in Paris und Geißler in Bonn. Walferdin bläst an seinen Thermometern den Quecksilberbehälter so aus der Röhre, daß er in der Peripherie nicht hervortritt, sondern nur durch Verminderung der Glasstärke entsteht; er calibriert ferner seine Röhren sehr sorgfältig und paßt ihnen die Scala an; auch nimmt er sie nicht von größerer Länge als 14 bis 15 Zoll, damit sie bei der Normirung des Siedepunktes ganz in den Dampf des kochenden Wassers gesenkt werden können. Da indessen diese Thermometer sich für Beobachtungen geringer Temperaturdifferenzen nicht eignen, so verfertigt er hierzu besondere metastatische Thermometer, deren Röhren gewöhnlich nur 10 bis 20 Grad umfassen und oben eine birnförmige Erweiterung haben. Will man mit einem solchen Instrumente, dessen Scala 20 Grad enthalte, Beobachtungen, z. B. zwischen 30 und 50 Grad anstellen, so erwärmt man es zuerst bis etwas über 50°, wendet es gegen das birnförmige Gefäß um, wodurch das bereits darin eingetretene Quecksilber hinabfällt und kühlt es wieder ab; der Quecksilberfaden in der Röhre zieht sich zurück und das oben befindliche Quecksilber bleibt selbst bei senkrechtem Stande des Instrumentes in der birnförmigen Erweiterung. Mittels eines Normalthermometers bestimmt man hierauf den Werth des untersten und obersten Theilstriches, wornach die Scala die dazwischen liegenden Grade angiebt. Ähnliche Instrumente, die oft nur wenige Grade umfassen, sind mit Weingeist gefüllt, bei denen man aus einem kleinen Säckchen zur Seite der oberen Erweiterung ein Quecksilbertröpfchen in die Röhre eintreten lassen kann, das bei den Beobachtungen als Index dient *).

Geißler nimmt zu seinen schönen Thermometern nicht die gewöhnlichen Thermometerrohre mit dicker Wandung, sondern zieht zu diesem Zwecke selbst Haarröhrchen aus. Von diesen wählt er solche Stücke, die, in Folge einer sorgfältigen Calibrirung vermittelt Quecksilber, sich in ihrer ganzen Länge als gleich weit erweisen oder deren unvermeidliche kleine Ungleichheiten bei größerer Länge durch die Theilmaschine sich corrigiren lassen. Diese schmelzt er an den das Quecksilber aufnehmenden Cylinder an. An denselben Cylinder wird eine weitere, das

*) Dove's Repertorium der Physik. Bd. VII. S. 200. Pogg. Ann. Bd. LVII. S. 846.

Haarröhrchen umschließende Glasröhre angeschmolzen, welche die Scala trägt. Diese ist von weißlichem, durchscheinenden Milchglase und auf ihr liegt das Haarröhrchen unmittelbar auf. Das Ablesen des Standes des Quecksilbers in dem Haarröhrchen wird hierdurch sehr bequem und ohne besondere Vor sicht genau.



Ein wesentlicher Vorzug der Reifler'schen Thermometer besteht aber ferner darin, daß bei ihnen die Ausdehnung des Glases durch die viel stärkere Ausdehnung des Quecksilbers compensirt ist. Es geschieht dies dadurch, daß das Haarröhrchen nicht mit seinem Ende an den das Quecksilber aufnehmenden Cylinder angeschmolzen ist, sondern bis nahe auf den Grund in das Quecksilber hineintaucht, wie an nebenstehender Figur bei *c* zu sehen ist. Der Cylinder ist natürlich nicht vollständig mit Quecksilber gefüllt, und der nicht gefüllte Raum bleibt oben, wie auch die Temperatur sich ändern mag, constant, vorausgesetzt, daß die Ausdehnungskoeffizienten für Glas sowohl als für Quecksilber für die Temperaturen, innerhalb welcher beobachtet werden soll, dieselben bleiben. Um hierbei zu verhindern, daß das zur Compensation dienende Quecksilber in dem Cylinder herumgeworfen werde und das Haarröhrchen etwa mit seinem Ende aus demselben herauskomme, befindet sich das Quecksilber in einem besonderen Cylinder, der innerhalb des bereits vorher erwähnten angebracht ist und bloß an seinem oberen Theile mit diesem durch eine feine Oeffnung (*s* der Figur) in Verbindung steht. Ein Blick auf die Zeichnung wird die ganze Einrichtung am deutlichsten machen. Um bei jedem einzelnen Instrumente die Compensation vollständig zu erreichen, wird nur die Ausdehnung des Quecksilbers als bekannt vorausgesetzt. Die Ausdehnung des Gefäßes, welche von einer Glasorte zur anderen und — in geringem Maße — von einer Form des Gefäßes zur anderen sich ändert, wird nicht ein für alle Mal aus der linearen Ausdehnung der angewandten Glasorte abgeleitet, sondern für jedes besondere Instrument auf directem Wege bestimmt. Das Nähere des hierbei beobachteten Verfahrens hat Plücker *) beschrieben. Wir müssen uns hier mit diesem Hinweise begnügen, und bemerken nur noch, daß die Flüssigkeit, welche in den constanten Raum über das zur Compensation dienende Quecksilber gebracht wird und deren wahre Ausdehnung unmittelbar abgelesen werden soll, nicht selbst in die Capillarröhre steigt, sondern nur auf das Quecksilber drückt und dies, wenn die Flüssigkeit in Folge zunehmender Temperatur sich ausdehnt, in der Capillarröhre dadurch zum Steigen bringt. Als solche Flüssigkeit könnte z. B. Wasser dienen, es ist indessen auch gestattet, den Apparat ganz mit Quecksilber zu füllen.

Theilt man den Fundamentalabstand eines Thermometers nach Réaumur in 80, nach Celsius in 100, nach Fahrenheit in 180 gleiche Theile, so

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXVI. S. 238.

ergiebt sich, daß 1° R. denselben Raum einnimmt, wie $\frac{5}{4}^{\circ}$ C. und wie $\frac{9}{4}^{\circ}$ F., eben so 1° C. denselben Raum, wie $\frac{4}{5}^{\circ}$ R. und $\frac{9}{5}^{\circ}$ F. und 1° F. denselben Raum, wie $\frac{4}{9}^{\circ}$ R. und $\frac{5}{9}^{\circ}$ C. Hieraus ergeben sich für die Reduction der Thermometerangaben nach der einen Eintheilung in solche der beiden anderen, wenn man noch berücksichtigt, daß der Eisschmelzpunkt bei Réaumur und Celsius in gleicher Weise mit 0, bei Fahrenheit hingegen mit + 32 bezeichnet wird, folgende Formeln:

$$\begin{aligned} + n^{\circ} \text{ R.} &= + \frac{5}{4} n^{\circ} \text{ C.} = (32 + \frac{9}{4} n)^{\circ} \text{ F.} \\ + n^{\circ} \text{ C.} &= + \frac{4}{5} n^{\circ} \text{ R.} = (32 + \frac{9}{5} n)^{\circ} \text{ F.} \\ + n^{\circ} \text{ F.} &= \frac{4}{9} (+ n - 32)^{\circ} \text{ R.} = \frac{5}{9} (+ n - 32)^{\circ} \text{ C.} \end{aligned}$$

Zur leichteren Reduction dieser drei Arten der Thermometerangaben in einander sind nach den angegebenen Formeln folgende Tabellen berechnet worden:

Réaum. Grade R.	machen		Réaum. Grade R.	machen	
	Celsius'sche C.	Fahrenheit'sche F.		Celsius'sche C.	Fahrenheit'sche F.
0°	0°	32°	34°	42,50	108,50
1	1,25	34,25	35	43,75	110,75
2	2,50	36,50	36	45,00	113,00
3	3,75	38,75	37	46,25	115,25
4	5,00	41,00	38	47,50	117,50
5	6,25	43,25	39	48,75	119,75
6	7,50	45,50	40	50,00	122,00
7	8,75	47,75	41	51,25	124,25
8	10,00	50,00	42	52,50	126,50
9	11,25	52,25	43	53,75	128,75
10	12,50	54,50	44	55,00	131,00
11	13,75	56,75	45	56,25	133,25
12	15,00	59,00	46	57,50	135,50
13	16,25	61,25	47	58,75	137,75
14	17,50	63,50	48	60,00	140,00
15	18,75	65,75	49	61,25	142,25
16	20,00	68,00	50	62,50	144,50
17	21,25	70,25	51	63,75	146,75
18	22,50	72,50	52	65,00	149,00
19	23,75	74,75	53	66,25	151,25
20	25,00	77,00	54	67,50	153,50
21	26,25	79,25	55	68,75	155,75
22	27,50	81,50	56	70,00	158,00
23	28,75	83,75	57	71,25	160,25
24	30,00	86,00	58	72,50	162,50
25	31,25	88,25	59	73,75	164,75
26	32,50	90,50	60	75,00	167,00
27	33,75	92,75	61	76,25	169,25
28	35,00	95,00	62	77,50	171,50
29	36,25	97,25	63	78,75	173,75
30	37,50	99,50	64	80,00	176,00
31	38,75	101,75	65	81,25	178,25
32	40,00	104,00	66	82,50	180,50
33	41,25	106,25	67	83,75	182,75

Réaum. Grade R.	machen		Réaum. Grade R.	machen	
	Celsius'sche C.	Fahrenheit'sche F.		Celsius'sche C.	Fahrenheit'sche F.
68°	85,00	185,00	75°	93,75	200,75
69	86,25	187,25	76	95,00	203,00
70	87,50	189,50	77	96,25	205,25
71	88,75	191,75	78	97,50	207,50
72	90,00	194,00	79	98,75	209,75
73	91,25	196,25	80	100,00	212,00
74	92,50	198,50			

Celsius'sche Grade C.	machen		Celsius'sche Grade C.	machen	
	Réaumur'sche R.	Fahrenheit'sche F.		Réaumur'sche R.	Fahrenheit'sche F.
0°	0°	32,00	34°	27,20	93,20
1	0,80	33,80	35	28,00	95,00
2	1,60	35,60	36	28,80	96,80
3	2,40	37,40	37	29,60	98,60
4	3,20	39,20	38	30,40	100,40
5	4,00	41,00	39	31,20	102,20
6	4,80	42,80	40	32,00	104,00
7	5,60	44,60	41	32,80	105,80
8	6,40	46,40	42	33,60	107,60
9	7,20	48,20	43	34,40	109,40
10	8,00	50,00	44	35,20	111,20
11	8,80	51,80	45	36,00	113,00
12	9,60	53,60	46	36,80	114,80
13	10,40	55,40	47	37,60	116,60
14	11,20	57,20	48	38,40	118,40
15	12,00	59,00	49	39,20	120,20
16	12,80	60,80	50	40,00	122,00
17	13,60	62,60	51	40,80	123,80
18	14,40	64,40	52	41,60	126,60
19	15,20	66,20	53	42,40	127,40
20	16,00	68,00	54	43,20	129,20
21	16,80	69,80	55	44,00	131,00
22	17,60	71,60	56	44,80	132,80
23	18,40	73,40	57	45,60	134,60
24	19,20	75,20	58	46,40	136,40
25	20,00	77,00	59	47,20	138,20
26	20,80	78,80	60	48,00	140,00
27	21,60	80,60	61	48,80	141,80
28	22,40	82,40	62	49,60	143,60
29	23,20	84,20	63	50,40	145,40
30	24,00	86,00	64	51,20	147,20
31	24,80	87,80	65	52,00	149,00
32	25,60	89,60	66	52,80	150,80
33	26,40	91,40	67	53,60	152,60

Celsius'sche Grade C.	machen		Celsius'sche Grade C.	machen	
	Réaumur'sche R.	Fahrenheit'sche F.		Réaumur'sche R.	Fahrenheit'sche F.
68°	54,40	154,40	85°	68,00	185,00
69	55,20	156,20	86	68,80	186,80
70	56,00	158,00	87	69,60	188,60
71	56,80	159,80	88	70,40	190,40
72	57,60	161,60	89	71,20	192,20
73	58,40	163,40	90	72,00	194,00
74	59,20	165,20	91	72,80	195,80
75	60,00	167,00	92	73,60	197,60
76	60,80	168,80	93	74,40	199,40
77	61,60	170,60	94	75,20	201,20
78	62,40	172,40	95	76,00	203,00
79	63,20	174,20	96	76,80	204,80
80	64,00	176,00	97	77,60	206,60
81	64,80	177,80	98	78,40	208,40
82	65,60	179,60	99	79,20	210,20
83	66,40	181,40	100	80,00	212,00
84	67,20	183,20			

Fahrenheit'sche Grade F.	machen		Fahrenheit'sche Grade F.	machen	
	Celsius'sche C.	Réaumur'sche R.		Celsius'sche C.	Réaumur'sche R.
0°	— 17,78	— 14,22	24°	— 4,44	— 3,55
1	17,22	13,77	25	3,89	3,11
2	16,67	13,33	26	3,33	2,66
3	16,11	12,88	27	2,78	2,22
4	15,56	12,44	28	2,22	1,77
5	15,00	12,00	29	1,67	1,33
6	14,44	11,55	30	1,11	0,88
7	13,89	11,11	31	0,56	0,44
8	13,33	10,66	32	0,00	0,00
9	12,78	10,22	33	+ 0,56	+ 0,44
10	12,22	9,77	34	1,11	0,88
11	11,67	9,33	35	1,67	1,33
12	11,11	8,88	36	2,22	1,77
13	10,56	8,44	37	2,78	2,22
14	10,00	8,00	38	3,33	2,66
15	9,44	7,55	39	3,89	3,11
16	8,89	7,11	40	4,44	3,55
17	8,33	6,66	41	5,00	4,00
18	7,78	6,22	42	5,56	4,44
19	7,22	5,77	43	6,11	4,88
20	6,67	5,33	44	6,67	5,33
21	6,11	4,88	45	7,22	5,77
22	5,56	4,44	46	7,78	6,22
23	5,00	4,00	47	8,33	6,66

Fahrenheit'sche Grade F.	machen		Fahrenheit'sche Grade F.	machen	
	Celsius'sche C.	Reaumur'sche R.		Celsius'sche C.	Reaumur'sche R.
48°	+ 8.89	+ 7.11	99°	+ 37.22	+ 29.77
49	9.44	7.53	100	37.78	30.22
50	10.00	8.00	101	38.33	30.66
51	10.56	8.44	102	38.89	31.11
52	11.11	8.88	103	39.44	31.55
53	11.67	9.33	104	40.00	32.00
54	12.22	9.77	105	40.56	32.44
55	12.78	10.22	106	41.11	32.88
56	13.33	10.66	107	41.67	33.33
57	13.89	11.11	108	42.22	33.77
58	14.44	11.55	109	42.78	34.22
59	15.00	12.00	110	43.33	34.66
60	15.56	12.44	111	43.89	35.11
61	16.11	12.88	112	44.44	35.55
62	16.67	13.33	113	45.00	36.00
63	17.22	13.77	114	45.56	36.44
64	17.78	14.22	115	46.11	36.88
65	18.33	14.66	116	46.67	37.33
66	18.89	15.11	117	47.22	37.77
67	19.44	15.55	118	47.78	38.22
68	20.00	16.00	119	48.33	38.66
69	20.56	16.44	120	48.89	39.11
70	21.11	16.88	121	49.44	39.55
71	21.67	17.33	122	50.00	40.00
72	22.22	17.77	123	50.56	40.44
73	22.78	18.22	124	51.11	40.88
74	23.33	18.66	125	51.67	41.33
75	23.89	19.11	126	52.22	41.77
76	24.44	19.55	127	52.78	42.22
77	25.00	20.00	128	53.33	42.66
78	25.56	20.44	129	53.89	43.11
79	26.11	20.88	130	54.44	43.55
80	26.67	21.33	131	55.00	44.00
81	27.22	21.77	132	55.56	44.44
82	27.78	22.22	133	56.11	44.88
83	28.33	22.66	134	56.67	45.33
84	28.89	23.11	135	57.22	45.77
85	29.44	23.55	136	57.78	46.22
86	30.00	24.00	137	58.33	46.66
87	30.56	24.44	138	58.89	47.11
88	31.11	24.88	139	59.44	47.55
89	31.67	25.33	140	60.00	48.00
90	32.22	25.77	141	60.56	48.44
91	32.78	26.22	142	61.11	48.88
92	33.33	26.66	143	61.67	49.33
93	33.89	27.11	144	62.22	49.77
94	34.44	27.55	145	62.78	50.22
95	35.00	28.00	146	63.33	50.66
96	35.56	28.44	147	63.89	51.11
97	36.11	28.88	148	64.44	51.55
98	36.67	29.33	149	65.00	52.00

VI.

41

Fahrenheit'sche Grade F.	machen		Fahrenheit'sche Grade F.	machen	
	Celsius'sche C.	Reaumur'sche R.		Celsius'sche C.	Reaumur'sche R.
150°	+ 65,56	+ 52,44	182°	+ 83,33	+ 66,66
151	66,11	52,88	183	83,89	67,11
152	66,67	53,33	184	84,44	67,55
153	67,22	53,77	185	85,00	68,00
154	67,78	54,22	186	85,56	68,44
155	68,33	54,66	187	86,11	68,88
156	68,89	55,11	188	86,67	69,33
157	69,44	55,55	189	87,22	69,77
158	70,00	56,00	190	87,78	70,22
159	70,56	56,44	191	88,33	70,66
160	71,11	56,88	192	88,89	71,11
161	71,67	57,33	193	89,44	71,55
162	72,22	57,77	194	90,00	72,00
163	72,78	58,22	195	90,56	72,44
164	73,33	58,66	196	91,11	72,88
165	73,89	59,11	197	91,67	73,33
166	74,44	59,55	198	92,22	73,77
167	75,00	60,00	199	92,78	74,22
168	75,56	60,44	200	93,33	74,66
169	76,11	60,88	201	93,89	75,11
170	76,67	61,33	202	94,44	75,55
171	77,22	61,77	203	95,00	76,00
172	77,78	62,22	204	95,56	76,44
173	78,33	62,66	205	96,11	76,88
174	78,89	63,11	206	96,67	77,33
175	79,44	63,55	207	97,22	77,77
176	80,00	64,00	208	97,78	78,22
177	80,56	64,44	209	98,33	78,66
178	81,11	64,88	210	98,89	79,11
179	81,67	65,33	211	99,44	79,55
180	82,22	65,77	212	100,00	80,00
181	82,78	66,22			

Proportionaltheile:

Fahrenheit F.	Celsius C.	Fahrenheit F.	Celsius C.
0°,1	0°,06	0°,6	0°,33
0,2	0,11	0,7	0,39
0,3	0,17	0,8	0,44
0,4	0,22	0,9	0,50
0,5	0,28		

Zur Prüfung und Verichtigung eines Thermometers theilen wir auch noch die Anleitung von Baumgartner *) mit. Ein Thermometer, in welchem die Queck-

*) H. a. D. S. 120.

Quecksilbersäule durch Luftblasen getrennt ist, oder welches in der Kugel eine Luftblase enthält, ist verwerflich; denn solche Luftblasen verbleiben nicht immer an einem und demselben Orte, sondern begeben sich oft, besonders beim Umkehren oder Neigen des Instrumentes, in den Raum über der thermometrischen Flüssigkeit. Wenn daher auch die Ausdehnung der Luft bei der Bestimmung der Fundamentalpunkte mitgewirkt hat und demnach das Thermometer von dieser Seite nicht unrichtig wäre, so hört dieses auf, wenn sie den Raum über dem Quecksilber einnimmt. In diesem Raume soll sich überhaupt so wenig als möglich Luft befinden, wenn das Instrument eben geschlossen ist. Man pflegt darum auch ein Thermometer zu neigen und umzukehren, um zu sehen, ob die Quecksilbersäule bis nahe an das Ende der Röhre hinabsinkt. Geschieht dieses, so kann man sicher sein, daß sich über dem Quecksilber keine Luft befindet, es müßte nur die Röhre gar eng sein, denn in diesem Falle sinkt selbst in luftleeren Instrumenten das Quecksilber nicht ganz hinab, und kann höchstens durch mehrere Stöße dahin gebracht werden. Bei diesem Umkehren des Thermometers sieht man auch am besten, ob irgendwo ein Luftbläschen versteckt sei. In größeren Thermometern sinkt die ganze Quecksilbersäule ohne abzureißen hinab, und es entsteht in der Kugel ein leerer Raum, der aber beim Aufstellen des Instrumentes wieder verschwindet, ohne die mindeste Spur zurückzulassen. Trennt sich die Quecksilbersäule, so findet sich an der Trennungsstelle gewiß etwas Luft oder eine Unreinigkeit. Uebrigens sind Bläschen in der Kugel minder zu scheuen als in der Röhre, weil diese selten über den Hals der Kugel hinaufsteigen.

Ist ein Thermometer von dieser Seite richtig befunden worden, so hat man auf die Scala zu sehen. Das Material derselben soll nie eine hygroskopische Substanz, wie z. B. Elfenbein, unlackirtes Holz sein, weil dieses sich beständig ändert; die Theilstriche müssen unter der Röhre ganz durchgezogen erscheinen, und nicht zu dick, wenigstens nicht ungleich dick sein. Daß die Scala gut getheilt sein muß, versteht sich von selbst. Ein Hauptaugenmerk verdienen die zwei Fundamentalpunkte. Diese werden gar häufig unrichtig bestimmt, und erleiden selbst mit der Zeit eine Veränderung. Darum soll man an jedem Instrumente, das man zu genauen Arbeiten brauchen will, vorläufig diese Punkte bestimmen.

Wenn sich auch ein Thermometer bei allen diesen Prüfungen bewährt hat, so kann es doch noch manchen Unrichtigkeiten unterworfen sein, weil vielleicht die Röhre nicht vollkommen cylindrisch ist, und doch die Scala für eine cylindrische Röhre getheilt wurde. Um dieses auszumitteln, sucht man die Quecksilbersäule an einer Stelle zu trennen. Dieses erreicht man dadurch, daß man die Röhre an der Stelle, wo die Trennung erfolgen soll, über einer Weingeistflamme erhitze. Mit der getrennten Säule verfährt man so, als wollte man damit die Röhre calibriren, man schiebt sie längst der Scala hin, so weit dieses angeht und sieht zu, ob sie überall durch gleich viele Grade der Scala reicht. Nach dieser Operation vereinigt man das getrennte Stück wieder mit der Quecksilbersäule, indem man durch Neigen der Röhre die Säule zu dem Reste des Quecksilbers hinabgleiten läßt, und im Nothfalle noch mit einigen Erschütterungen zu Hülfe kommt.

Man kann auch ein Thermometer im Allgemeinen dadurch prüfen, daß man seinen Stand mit dem eines anderen anerkannt richtigen in verschiedenen Punkten

der Scala unter denselben Verhältnissen vergleicht. Hierbei darf man aber ja nicht vergessen, daß zwei Instrumente, deren Kugeln nicht ganz gleiche Durchmesser oder Wanddicken haben, einen verschiedenen Grad der Empfindlichkeit besitzen, und muß daher die Zeit gehörig abwarten, wo beide die Temperatur des Mittels, in dem sie sich befinden, ganz angenommen haben, und auch diese Temperatur möglichst lange zu unterhalten suchen. Wenn man die vorbergehenden Prüfungsregeln mit Schärfe anwendet, so wird man sich überzeugen, daß kein Thermometer ganz vollkommen ist. Ein Instrument, das eine hygroskopische Scala hat, dessen Theilung schlecht gemacht ist, dessen Röhre sprungweise gehende Unregelmäßigkeiten hat, wird nie durch Berichtigung auf einen erträglichen Grad der Genauigkeit gebracht werden können. Zeigen sich aber nur stufenweise erfolgende Abweichungen der Röhre von der cylindrischen Gestalt, oder sind die Fundamentalepunkte unrichtig bestimmt, so kann man die Größe der daraus entspringenden Fehler kennen lernen, und sie beim Gebrauche in Rechnung bringen. Wie man zu dieser Kenntniß gelangt, soll hier nach der von Bessel *) angegebenen vortrefflichen Methode gezeigt werden.

An jedem Thermometer hat man für jeden Grad x der Scala die Correction φx und dann noch überdies den Eis- und Siedepunkt auszumitteln. Bezeichnet man den Ort des Eis- und Siedepunktes auf der Scala mit e und s und ihre Correction mit φe und φs , so findet man an einem hunderttheiligen Instrumente den wahren Grad, welcher dem Punkte x der Scala entspricht, durch die Proportion

$$s + \varphi s - (e + \varphi e) : 100 = x + \varphi x - (e + \varphi e) : f$$

woraus man erhält

$$f = \frac{x + \varphi x - (e + \varphi e)}{s + \varphi s - (e + \varphi e)} 100.$$

Es handelt sich demnach darum, φx , φe und φs zu bestimmen. Die Bestimmung von φx ist am umständlichsten; von ihr soll daher zuerst die Rede sein.

Die Operation, wodurch man die zur Bestimmung von φx nöthigen Werthe findet, besteht darin, daß man von der Quecksilbersäule hinter einander Stücke von verschiedener Länge abtrennt und mit jedem derselben den Theil der Scala, durch den es sich schieben läßt, calibriert, indem man das eine Ende der Säule auf einen mit einer runden Zahl bezeichneten Theilstrich der Scala stellt und sieht, wohin das andere Ende reicht. Man muß aber beim Trennen der Säule durch das vorhin angegebene Mittel vorsichtig zu Werke gehen, um das Glas nicht zu beschädigen. Die Länge dieser Fäden ist zwar willkürlich, doch soll der erste über die halbe Scala des Thermometers sich erstrecken, die man berichtigen will, und jeder folgende etwa um 10° kürzer sein. Die Länge des letzteren soll aber kleiner sein, als die halbe Länge des ersten. Je mehr Fäden man braucht, desto sicherer lassen sich die beabsichtigten Correctionen ausmitteln. Baumgartner hat bei der Prüfung eines Thermometers, das von Weilhöfer in Wien gefertigt ist, und sehr kleine Unregelmäßigkeiten zeigte, nach dieser Methode folgende Werthe erhalten:

*) Pogg. Ann. Bd. VI. S. 287.

Unteres Ende des Fadens	Oberes Ende des Fadens			
	I.	II.	III.	IV.
— 20	20	—	—	—
— 10	30,4	24,7	—	—
0	40,5	34,8	24,5	11,1
+ 10	50,6	44,9	34,55	21,1
20	60,6	54,9	44,55	31,1 (A).
30	70,5	64,8	54,50	41,05
40	—	74,7	64,4	51,0
50	—	—	74,3	61,0
60	—	—	—	71,0

Um aus diesen Daten die jedem Werthe x entsprechende Correction φx zu finden, drücke man alle Quecksilberfäden in einem gleichen aber an sich willkürlichen Maße aus, und denke sich jeden derselben an die Stelle der vorhin gebrauchten Fäden gebracht, so daß sein unteres Ende auf den Grad fällt, auf welchen der wirklich gebrauchte Faden fiel. Vergleicht man nun die Stelle seines oberen Endes mit der, welche der Faden in der Länge, wie er im Thermometer erscheint, einnimmt, so giebt der Unterschied eine Correction für den Punkt, auf welchen das untere Ende fällt. Daher ist das untere Ende durch das obere bestimmt, und da dieses mit jedem Faden geschieht, so erhält man so viele Bestimmungen desselben Scalenpunktes, als man Fäden gebraucht hat, und das Mittel derselben giebt die Correction, wenn man die Verbesserung für das andere Ende des Fadens vernachlässigt. Dieses Verfahren wird eine wirkliche Berechnung aus den vorher angeführten Daten mehr ins Licht setzen.

Man drücke die Länge jedes Fadens nahe so aus, wie er am unteren Theile der Scala erscheint, setze aber allen, den ersten ausgenommen, eine Correction bei, damit sich alle ungeachtet der etwaigen Ungleichheiten der Röhre auf das Maß beziehen, worin der erste ausgedrückt ist.

Für unseren Fall ist

$$\text{die Länge des Fadens I.} = 40,5$$

$$\text{II.} = 34,8 + c_1$$

$$\text{III.} = 24,4 + c_2$$

$$\text{IV.} = 11,1 + c_3$$

Nun hat man für die Werthe obiger Tafel (A), welche mit 30 in derselben horizontalen Linie liegen:

$$70,5 + \varphi(70,5) - (30 + \varphi 30) = 40,5$$

$$64,8 + \varphi(64,8) - (30 + \varphi 30) = 34,8 + c_1$$

$$54,5 + \varphi(54,5) - (30 + \varphi 30) = 24,4 + c_2$$

$$41,1 + \varphi(41,1) - (30 + \varphi 30) = 11,1 + c_3$$

und hieraus

$$30 + \varphi 30 = 30 + \varphi 70,5$$

$$= 30 + \varphi 64,8 - c_1$$

$$= 30,1 + \varphi 54,5 - c_2$$

$$= 30 + \varphi 41,1 - c_3$$

Nimmt man hiervon das arithmetische Mittel, und setzt das Mittel aus den Correctionen des oberen Theiles der Scala = 0, so erhält man:

$$30 + \varphi 30 = 30,02 - \frac{1}{4} (c_1 + c_2 + c_3)$$

oder wenn man $\frac{1}{4} (c_1 + c_2 + c_3) = C$ setzt:

$$\varphi 30 = 0,02 - C.$$

Auf dieselbe Weise findet man mittelst der Zahlen, die in obiger Tafel mit 20, 10, 0 in derselben horizontalen Reihe stehen:

$$\varphi 20 = 0,08 - C$$

$$\varphi 10 = 0,08 - C$$

$$\varphi 0 = 0,00 - C.$$

Setzt man nun zu diesen Werthen die Fadenlängen, und vergleicht das Ergebniß dieser Summierung mit dem, was die Beobachtungstabelle liefert, so erhält man die Correctionen für jene Stellen der Scala, wo sich das obere Ende des Fadens befand, während das untere Ende mit 0, 10, 20, 30 coincidirte. Man hat nämlich:

	$0 + \varphi 0 = 0,00 - C$
dazu den Faden I.	$= 40,5$
	<hr/>
	$40,5 + \varphi 40,5 = 40,5 - C$
mithin	$\varphi 40,5 = 0,00 - C$
Eben so wird	$10 + \varphi 10 = 10,08 - C$
Dazu den Faden I.	$= 40,50$
	<hr/>
	$50,6 + \varphi 50,6 = 50,58 - C$
das ist	$\varphi 50,6 = -0,02 - C$

und auf ähnliche Weise:

	$\varphi 60,6 = -0,01 - C$
	$\varphi 70,5 = 0,02 - C$
Eben so erhält man durch den Faden II.	
	$\varphi 34,8 = 0,00 - C + c_1$
	$\varphi 44,9 = -0,01 - C + c_1$
	$\varphi 54,9 = -0,02 - C + c_1$
	$\varphi 64,8 = 0,02 - C + c_1$
Durch den Faden III.	
	$\varphi 24,5 = -0,01 - C + c_2$
	$\varphi 34,55 = -0,07 - C + c_2$
	$\varphi 44,55 = -0,07 - C + c_2$
	$\varphi 54,5 = -0,08 - C + c_2$
Durch den Faden IV.	
	$\varphi 11,1 = 0,00 - C + c_3$
	$\varphi 21,1 = 0,08 - C + c_3$
	$\varphi 31,1 = 0,08 - C + c_3$
	$\varphi 41,1 = 0,02 - C + c_3$

Allen diesen Correctionen hängen noch die Werthe von c an. Um sie davon zu befreien, nehme man aus allen mittelst desselben Fadens erhaltenen Resultaten das arithmetische Mittel, und setze das Mittel der Correctionen wieder = 0. Da wird

$$\begin{aligned}
 0 &= -0,01 - 4 C & \text{mithin } c &= 0,00 \\
 0 &= -0,01 - 4 C + 4 c_1 & c_1 &= 0,00 \\
 0 &= -0,23 - 4 C + 4 c_2 & c_2 &= 0,06 \\
 0 &= -0,18 - 4 C + 4 c_3 & c_3 &= -0,05.
 \end{aligned}$$

Werden durch diese Werthe obige Correctionen von c befreit, so wird für die Ergebnisse, die mittelst des dritten und vierten Fadens erhalten wurden:

$$\begin{aligned}
 \varphi 24,5 &= 0,05 - C & \varphi 11,1 &= -0,05 - C \\
 \varphi 34,55 &= -0,01 - C & \varphi 21,1 &= 0,03 - C \\
 \varphi 44,55 &= -0,01 - C & \varphi 31,1 &= 0,03 - C \\
 \varphi 54,5 &= -0,02 - C & \varphi 41,1 &= -0,03 - C
 \end{aligned}$$

Die übrigen Verbesserungen sind ohnehin von c frei, weil diese Größe bei den Ergebnissen mit dem ersten Faden nicht vorkommt, in den mit dem zweiten Faden erhaltenen aber $c = 0$ ist.

Es wäre leicht, alle diese Correctionen von c zu befreien, da dessen Werth bekannt ist, aber man kann es ganz weglassen, weil dadurch alle Scalenspunkte um gleichviel verrückt werden, und ohnehin nach der Hand die Bestimmung der Scala durch Ausmittlung des Eispunktes vor sich geht. Die hier gefundenen Correctionen beziehen sich auf Scalenspunkte, denen Brüche angehängt sind, und die nicht durch runde Zahlen ausgedrückt sind. Da es sich besonders um Bestimmung der Correctionen für die runden Zahlen handelt, so muß man diese von jenen herleiten. Zu diesem Behufe bringt man alle oberen beobachteten Scalenspunkte in natürlicher Ordnung in eine Tabelle und setzt denen, wofür die Correction schon gefunden ist, diese bei. Hierauf vereinigt man jene Zahlen, die nahe an einer zu suchenden runden Zahl liegen, zu einem arithmetischen Mittel, und sucht endlich die Correction für jene runden Zahlen durch Interpoliren.

Folgende Tabellen enthalten die Grade, für welche die Correction schon gefunden ist, nebst diesen Correctionen. Jene Grade, welche sich zu einem arithmetischen Mittel vereinigen lassen, stehen zwischen zwei Strichen:

x	φx	x	φx
11,1	- 0,03	41,1	- 0,03
21,1	+ 0,03	44,55	- 0,01
24,5	+ 0,05	44,9	- 0,01
31,1	+ 0,03	50,6	- 0,02
34,5	- 0,01	54,5	- 0,02
34,8	+ 0,00	54,9	- 0,02
40,5	+ 0,00	60,8	- 0,01
		64,8	0,02
		70,5	0,02

Hieraus findet man folgende arithmetische Mittel und ihre Verbesserungen:

x	φx	x	φx
25,56	+ 0,03	56,63	— 0,01
39,9	+ 0,00	67,63	— 0,01
45,41	0,00		

und aus allen Verbesserungen zusammen durch Interpoliren:

$\varphi 0 = 0,00$	$\varphi 40 = 0,00$
$\varphi 10 = 0,08$	$\varphi 50 = 0,02$
$\varphi 20 = 0,08$	$\varphi 60 = - 0,01$
$\varphi 30 = 0,02$	

Zur Bestimmung der Correctionen von $- 10^\circ$, $- 20^\circ$ braucht man die wahre Fadenlänge zu kennen. Diese wird bekannt, wenn man sie von dem abhängenden c befreit, und man bekommt:

$$I. = 40,5, \text{ II.} = 34,8, \text{ III.} = 24,46, \text{ IV.} = 11,05.$$

Nun nimmt man aus der ersten Tabelle jene Ergebnisse, bei denen das untere Fadenende auf $- 20$, $- 10$ u. stand, setzt dem oberen Ende die aus dem Vorhergehenden sich ergebenden Verbesserungen zu, und zieht dann die Fadenlänge, auf welche sich dieses bezieht, ab, so erhält man $\varphi - 20$, $\varphi - 10$ u. Es ist nämlich für unseren Fall:

$$\begin{aligned} 20,3 + \varphi 20,3 &= 20,80 \\ \text{davon den Faden I.} &= 40,50 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{gibt } \varphi (- 20) &= - 0,3 \\ \text{eben so wird } \varphi (- 10) &= - 0,06 \end{aligned}$$

Man kann alle nun gefundenen Verbesserungen dazu brauchen, um die oberen Fadenenden in der ersten Tabelle dadurch zu corrigiren, mit so erhaltener neuen verbesserten Tabelle das ganze Verfahren wieder von neuem vornehmen, um noch genauere Werthe von φ zu finden. In unserem Falle sind die Verbesserungen ohnehin sehr klein, und man kann sich diese Arbeit wohl erlassen.

Um nun das Thermometer in Betreff der fixen Punkte zu berichtigen, muß man den Eis- und Siedepunkt bestimmen, für $s + \varphi s$, $e + \varphi e$ die Werthe in der Formel setzen, und daraus $f - x$ suchen. Bei dem hier in Rede stehenden Thermometer fiel der Eispunkt auf 0,2, der Siedepunkt aber auf 100,1. Man hat daher

$$\begin{aligned} e + \varphi e &= - 0,2, \quad s + \varphi s = 100,1 \text{ und} \\ f &= (x + \varphi x) 1,001 + 0,02 \end{aligned}$$

und daher die Correction für jeden einzelnen Grad

$$f - x = 0,001 x + 1,001 \varphi x - 0,02.$$

Eine andere und, wie es scheint, sehr zuverlässige Berichtigungsmethode empfiehlt G. n. Er versteht zuerst das Thermometer mit einer Scala von so feiner aber übrigens willkürlicher Theilung, daß je zwei Theilstriche nur etwa um 0,07 R. von einander abstehen, trennt von der Quecksilbersäule einen Faden, dessen Länge etwa 30° der Thermometerscala beträgt und beobachtet die Länge dieses Fadens, indem er sein unteres Ende von $200 - 200 \text{ Th.}$ der willkürlichen Scala verschiebt, bis sein oberes Ende den höchsten Punkt der Thermometer- röhre erreicht hat. Diese Beobachtung wird mit einer Loupe vorgenommen, etwa

dreimal wiederholt und im Falle sich Differenzen zeigen, aus allen drei Werthen das Mittel genommen. Da der Raum, welchen der Faden unten verläßt, offenbar dem gleich, um welchen sein oberes Ende hinauf rückt, so lernt man dadurch das Verhältniß der Räume kennen, die innerhalb 200, 400, 600, 800 *z.* Th. der Scala liegen, und um die ganze Fadenlänge von einander entfernt sind. Um auch den innerhalb der Fadenlänge enthaltenen Raum untersuchen zu können, wird ein Faden von etwa 10° Länge abgetrennt und mit demselben ein Stück der Röhre untersucht, das sich bei der vorhergehenden Prüfung am regelmäßigsten gezeigt hat, und dessen Länge der vorhin gebrauchten Fadenlänge (30°) gleicht. Nun sind die Verhältnisse der Räume der Röhre bekannt bis auf ein Stück von der Länge des letzteren Fadens. Kann man der Natur der Röhre nach annehmen, daß 10° lange Stücke allenthalben gleich weit sind, so kann man die Untersuchung für beendet halten; ist dieses aber nicht der Fall, so muß man noch einen dritten Faden von etwa 3° Länge anwenden und mit diesem ein 10° langes Röhrenstück in der Gegend, wo sich vorhin die größte Unregelmäßigkeit zeigte, untersuchen. Nun legt man ein Röhrenstück, wo möglich aus der Mitte der Röhre von 200 Th. Länge, zum Grunde und berechnet den räumlichen Inhalt der anderen Stücke von derselben Länge nach dem Gesetze, daß sich diese Rauminhalte verkehrt wie die Längen der Quecksilberläulen verhalten. Ist nun an dem Thermometer der Eis- und Siedepunkt genau bestimmt, mithin auch bekannt, welche Raumtheile innerhalb des Fundamentalabstandes fallen, so ist der Werth jedes Grades der Thermometerscala in Theilen der angebrachten Hülfsscala gegeben. Daß ein solches Thermometer keine andere Scala mehr braucht, ist für sich klar, so wie, daß durch Anwendung der willkürlich getheilten Scala die Sache nicht verwickelter wird, indem man eben so nur diese Scala und eine sie erklärende Tabelle braucht, wie man bei den gewöhnlichen berichtigten Thermometern die eigentliche Thermometerscala und die Correctionstabelle zur Hand haben muß.

Wiewohl der Gebrauch des Thermometers im Allgemeinen allenthalben bekannt ist, so dürfte es doch nicht überflüssig sein, hier einige Worte über die dabei zu beobachtenden Vor­sichten zu sagen, denn es ist nicht gleichgiltig, in welcher Stellung ein Thermometer beobachtet wird, wie es mit dem Stoffe, um dessen Temperatur es sich handelt, in Verbindung zu setzen sei, mit welchen Vor­sichten man dessen Anzeigen abzulesen, und wie man die etwa nicht zu beseitigenden widrig wirkenden Umstände in Rechnung zu bringen habe.

Das Erste, worauf man beim Gebrauch eines Thermometers zu sehen hat, ist die Stellung desselben. Es haben sich zwar bewährte Kenner dieses Instrumentes, wie z. B. L u z, entschieden ausgesprochen, daß es gleichgiltig sei, ob man dem Thermometer eine verticale oder eine horizontale Stellung gebe, indeß scheint die Sache doch große Aufmerksamkeit zu verdienen. Thermometer mit kleinen Graden und kurzen Quecksilberläulen mögen immerhin nach Belieben in horizontaler oder verticaler Lage gebraucht werden, weil das Glas bei letzterer Stellung des Instrumentes durch den Druck der Quecksilbersäule wohl nicht so sehr afficirt werden wird, daß daraus ein merklicher Unterschied im Stande der Quecksilbersäule hervorgehen kann; aber an langen Thermometern erleidet das Glas durch den Druck der Quecksilbersäule eine Ausdehnung, und es entspricht bei verticaler Stellung dieses Instrumentes demselben Wärmegrade eine kürzere Quecksilbersäule als bei horizontaler. Das Wiener Museum besitzt ein 3 Fuß langes Thermometer

von Weilhöfer, das vorzüglich gut construirt ist. Der ganze Fundamentalabstand hat eine Länge von $22\frac{1}{2}$ Zoll und jeder Grad ist in 5 gleiche Theile unmittelbar getheilt. Dieses Instrument giebt beim Uebergang der verticalen Stellung in die horizontale eine Differenz von nahe $\frac{1}{10}$ Grad. Solche Thermometer müssen daher immer in einerlei Stellung und zwar in derjenigen beobachtet werden, in welcher die Fundamentalpunkte, besonders der Siedepunkt, bestimmt worden sind. Aber stets wird man sicherer daran sein, wenn letztere Bestimmung in horizontaler Lage der Röhre gemacht worden ist, weil man sonst nicht mit Gewißheit weiß, ob sich das Glas in der Siedhize eben so durch einen Druck ausdehnt, wie bei gewöhnlichen Temperaturen. Doch muß man ja darauf sehen, daß Thermometer, die in horizontaler Stellung beobachtet werden, nicht etwa zwischen dem Quecksilber ein Luftbläschen enthalten, weil dieses bei Ermangelung eines Druckes die Quecksilbersäule hebt, und dadurch einen Irrthum bei der Beobachtung der Temperatur veranlaßt. — Das Thermometer muß mit der Masse, um deren Temperatur es sich handelt, so weit in unmittelbare Berührung gebracht werden, als die Quecksilbersäule reicht, damit die durch sie verursachte Erwärmung oder Erkältung auf alles Quecksilber des Instrumentes wirke. Wenn einem von der zu untersuchenden Masse nicht die nöthige Quantität zu Gebote steht, um die volle Einsetzung des Thermometers bewerkstelligen zu können, und man dem Beobachtungsergebnisse doch nichts von der größten Schärfe erlassen kann, so muß man zu einer Correction seine Zuflucht nehmen. Gesezt ein hunderttheiliges Thermometer gebe die Temperatur eines Körpers mit t^0 an, und es sei nicht möglich, die ganze Quecksilbersäule in die Masse zu tauchen, sondern es rage eine Säule τ^0 aus dieser Masse in die Luft oder in ein anderes Mittel hervor, dessen Temperatur τ ist; so kann man annehmen, daß auch die hervorragende Quecksilbersäule die Temperatur τ habe, mithin durch Temperaturveränderung von $t - \tau^0$ um $\frac{t - \tau}{5550} \tau^0$ länger werde. Darum wird letztere Größe die Correction sein,

welche man mit ihrem Zeichen zur beobachteten Temperatur t zu setzen hat, um die erste Annäherung zu erhalten. Die so gefundene Temperatur kann man wieder für t setzen, wieder die Correction und mittelst dieser eine zweite Annäherung erhalten. Man wird es aber in den wenigsten Fällen nothwendig finden, über die erste Annäherung hinaus zu gehen.

Wenn es sich darum handelt, die Temperatur flüssiger Stoffe zu untersuchen, so darf man ja nicht vergessen, daß diese in verschiedenen Horizontalschichten verschieden sein kann, und muß deshalb die Temperatur einer besonderen Schicht untersuchen, oder aus den Resultaten der Untersuchung mehrerer Schichten das Mittel nehmen. Wenn man aber bei der Temperaturbestimmung einer Schicht ein reines Resultat haben will, so ist die horizontale Lage des Thermometers unerläßlich. Ueberdies muß man da, wo es sich um besonders scharfe Resultate handelt, den Umstand wohl berücksichtigen, daß das Quecksilbergesäß eines Thermometers in tiefliegenden Schichten eine Compression erleidet, und darum die Temperatur zu hoch erscheint. Dasselbe ist der Fall, wenn man die Temperatur eines comprimirtten Gases, besonders mit einem luftleeren Thermometer untersucht. Um sowohl in diesem als in jenem Falle die Wirkung der Compression zu erfahren, ist es gut, vorläufig den Versuch mit einer Flüssigkeit zu machen, welche die Tem-

peratur der Atmosphäre hat, und die daher den Stand des hineingebrachten Thermometers, das sich in der Luft befand, nur vermöge der Compression des Quecksilbergefäßes zu ändern vermag. Auf diese Wirkung muß man bei der Bestimmung des Endresultates Rücksicht nehmen. — Soll durch ein Thermometer die Temperatur der Luft ausgemittelt werden, so muß man es an einen Ort bringen, zu welchem zwar die Luft von allen Seiten Zutritt hat, der aber doch gegen Regen, Wind etc. und sowohl gegen das directe Sonnenlicht, als gegen strahlende Wärme möglichst geschützt ist. Darum darf ein solches Instrument nur an der Nordseite eines Gebäudes aufgestellt werden, muß hinreichend von der Mauer entfernt sein, und sich in einem von oben und seitwärts geschützten, am besten blechernen, durchlöchernten Kasten befinden. Nur wenn es dem Beobachter darum zu thun ist, die während einer Nacht durch Ausstrahlen der Wärme hervorgebrachte Erkaltung kennen zu lernen, muß das Thermometer von der Decke befreit und dem freien Himmel ausgesetzt werden. Thermometer mit hölzernen, die Wärme langsam leitenden Scalen sind zu diesem Ende nicht wohl zu brauchen, weil ihr Gang stets hinter der Temperatur der Atmosphäre um Vieles zurückbleibt. Uebrigens wird man bei aller Sorgfalt nicht erwarten dürfen, daß man bei Beobachtungen der Luftwärme ein vollkommen richtiges Resultat erhalte, denn der Thermometerstand ist so veränderlich, daß man selbst bei jeder von schnell aufeinander folgenden Beobachtungen ein anderes Resultat finden wird, welches theils vom Wechsel kälterer und wärmerer Luftschichten, theils von der größeren oder minderen Einwirkung der Metcore und der strahlenden Wärme abhängt, und es bleibt dem Beobachter nichts übrig, als mit dem Schlag der Stunde, die man zum Beobachten bestimmt hat, an die Arbeit zu gehen, und etwa einige Minuten darnach noch einen Blick auf das Thermometer zu werfen, um etwa die Natur der die schnellen Veränderungen erzeugenden Ursachen leichter ausmitteln zu können. Bei der Beobachtung des Thermometerstandes hat man mit gehöriger Eile zu verfahren, um den Stand der Quecksilberäule nicht durch die Körperwärme zu ändern und muß sorgen, daß das Auge in derselben horizontalen Ebene steht, in welcher sich die Oberfläche der Quecksilberäule und der betreffende Theilstrich der Scala befindet. Man hat Thermometer, bei denen die Scala an den zwei einander gegenüberstehenden Seiten unmittelbar in das Glas eingeschnitten ist. Bei diesen ist es leicht, den rechten Ort für das Auge zu finden, weil man weiß, er befindet sich in der Höhe jenes Scalenstriches, der den gleichbedeutenden der anderen Seite zu decken scheint. Indes kann man auch bei Thermometern mit einer einfachen Scala diesen Ort ohne besondere Mühe finden, denn derjenige Theilstrich der Scala, der mit dem Auge in derselben Horizontalebene liegt, erscheint, wenn er hinter der Röhre durchgezogen ist, gerade, während die darunter oder die darüber liegenden sich gekrümmt zeigen.

Das Quecksilberthermometer, dessen man sich fast ausschließlich bedient, ist, wie oben angeführt ist, nur bis 100° C. ein richtiger Wärmemesser; über diese Grenze hinaus muß man eine Correction anwenden, um aus seinen Anzeigen den wahren Wärmegrad zu erkennen. Diese Correction hat August aus den von Dulong und Petit angestellten Versuchen, die Vergleichung des Quecksilber- und Luftthermometers betreffend, abgeleitet. Auch Runkle hat dieselbe Arbeit unternommen und ist zu demselben Resultate gelangt. Man multiplicirt die Summe $0,09 + 0,00028 \tau$ mit $\frac{1}{4}$, τ und subtrahirt dies Pro-

duct von der beobachteten Temperatur. August überzeugte sich, daß die derselben Temperatur entsprechenden Grade bei dem Thermometer Unterschiede geben, deren zweite Differenzen ($= 0,35$) constant ist. Dadurch wurde er auf die Formel

$$\delta = \frac{1}{4} (0,09 \tau + 0,00028 \tau^2)$$

geleitet, wo τ die Anzahl der über 100° liegenden Grade des hunderttheiligen Quecksilberthermometers, und δ die zu suchende Correction bedeutet. Heißt nun der wahre Wärmegrad t_w , der Grad des Quecksilberthermometers t_q , so ist

$$\delta = t_q - t_w$$

und daher

$$t_w = t_q - \frac{1}{4} \tau (0,09 + 0,00028 \tau).$$

Diese Formel giebt aber nur bis 300° genaue Resultate, weiter aufwärts wird t_w wohl etwas zu klein, doch ist die Abweichung im Ganzen so gering, daß man die Formel bis zum Siedepunkt des Quecksilbers benutzen kann.

Die zur Reduction der hohen Thermometergrade nöthigen Zahlen sind in nachstehender Tabelle enthalten.

Grade des 100-theiligen Quecksilber- thermometers	wahre Wärmegrade	Differenz	Grade des 100-theiligen Quecksilber- thermometers	wahre Wärmegrade	Differenz
101°	100,977	0,023	200°	197,075	2,925
105	104,886	0,114	205	201,893	3,107
110	109,768	0,232	210	206,708	3,292
115	114,647	0,353	215	211,520	3,480
120	119,523	0,477	220	216,328	3,672
125	124,396	0,604	225	221,133	3,867
130	129,264	0,736	230	225,934	4,066
135	134,130	0,870	235	230,732	4,268
140	138,992	1,008	240	235,527	4,473
145	143,841	1,159	245	240,318	4,682
150	148,702	1,298	250	245,106	4,894
155	153,559	1,441	255	249,891	5,109
160	158,407	1,593	260	254,671	5,329
165	163,265	1,735	265	259,450	5,550
170	168,094	1,906	270	264,224	5,776
175	172,933	2,067	275	268,995	6,005
180	177,764	2,236	280	273,761	6,239
185	182,600	2,400	285	278,527	6,473
190	187,428	2,572	290	283,288	6,712
195	192,253	2,747	295	288,046	6,954
			300	292,800	7,200

Rudberg *) hat folgende Reductionsformel angegeben, in welcher t die Grade des Luftthermometers und τ die des Quecksilberthermometers bezeichnen:

$$t = 1,0002675 \tau + \frac{0,25691}{(10)^4} \tau^2 - \frac{0,28366}{(10)^6} \tau^3.$$

*) Ann. de Chim. et Pharmac. T. XXXVI. Pogg. Ann. Bd. XLI. S. 271 u. 588; Bd. XLIV. S. 119.

Außer den tropfbarflüssigen Körpern und der Luft hat man auch feste Körper, namentlich Metalle, zur Herstellung von Thermometern zu verwenden gesucht. Da die Volumenveränderungen derselben jedoch nur unbedeutend sind, so eignen sich dieselben nicht für den gewöhnlichen Gebrauch, und die vorzüglichste Verwendung hat daher nur für sehr hohe Temperaturgrade stattgefunden, wo die gewöhnlichen Thermometer ihre Anwendbarkeit verlieren. Der Art. Pyrometer, Bd. V. S. 515, namentlich S. 520 ff. enthält das Nähere. Um den Metallthermometern einen größeren Grad der Empfindlichkeit zu verleihen und sie zur Angabe geringerer Temperaturveränderungen geschickt zu machen, hat man das im Art. Compensation, Bd. I. S. 989 ff. beschriebene Princip — die ungleiche Ausdehnung zweier Metalle — benutzt. Hieraus gründen sich das Zifferblattthermometer und das Frequet'sche Thermometer.

Der Erfinder des Zifferblattthermometers läßt sich nicht mit Sicherheit ermitteln. Man schreibt dasselbe dem Uhrmacher Jörgensen in Kopenhagen zu *), eben so Holzmänn in Wien **); Munde ***), erwähnt indessen, daß er bereits Ende des vorigen Jahrhunderts ein solches von dem Uhrmacher Ahrens in Hannover verfertigtes Instrument gesehen habe. Beistehende Figur zeigt eine der gewöhnlichsten Anordnungen des Thermometers. fgh ist ein Metallstreifen, der aus einem dünnen Kupferstreifen und einem dünnen Stahl-



streifen, die der ganzen Länge nach an einander gelötet sind, besteht. Dieser Doppelstreif ist in f befestigt, krümmt sich in g und endet in h. Um die Axe h dreht sich ein Hebel, dessen kürzerer Arm fortwährend gegen das Ende h gestemmt ist, und dessen längerer Arm Zähne d d' trägt. Die sehr kleinen Bewegungen, welche durch die Ausdehnung des Metalles am Ende h erzeugt werden, werden schon in dem Verhältnisse der Hebelarme (i. d. Art. Hebel) vergrößert; nachher greifen aber die Zähne d d' in ein kleines Getriebe, welches um die in der Mitte liegende Axe c sich dreht, und die Nadel li, welche sich um dieselbe Axe dreht, zeigt die Bewe-

gungen des Getriebes in noch größerem Maße. Man berechnet die Dimensionen so, daß ungefähr die 100^{te} der hunderttheiligen Scala einer ganzen Umdrehung der Nadel entsprechen, welche Rechnung nach den einfachen Gesetzen des Hebels sich leicht bewerkstelligen läßt. Die Graduierung dieser Instrumente geschieht durch Vergleichung mit einem guten Quecksilberthermometer, wo möglich von Grad zu Grad, wenigstens von 10 zu 10 Grad. Durch Anbringung zweier Hülfszeiger nach Art derjenigen, welche im Art. Kraftmesser, Pt. IV. S. 344 und 345 beschrieben sind, hat Winckler in Kopenhagen ****) dies Thermometer für die Angabe des Maximum und Minimum geschickt gemacht.

*) Gehlen, R. Journ. Bd. VI. S. 500.

**) Jahrbücher des polyt. Instit. zu Wien. Bd. I. S. 203.

***), Gehlen's phys. Wörterb. Neue Bearb. Bd. IX. S. 988.

****) Astronom. Nachr. Bd. VII. 1829. Nr. 157. S. 218.

Das feinste aller Metallthermometer ist das des Uhrmachers Breguet zu Paris *). Dasselbe besteht aus einem kleinen Metallstreif von 1 bis 2 Millimeter Breite, der in Gestalt einer Spirale gewunden ist, wie die beistehende Figur zeigt. Mit dem einen Ende ist die Spirale an ein Kupferstück befestigt, welches dieselbe vollkommen frei und isolirt läßt, und an dem unteren Ende trägt sie eine sehr leichte horizontale Nadel, deren Spitze den Umkreis des eingetheilten Kreises *c c'* durchläuft; der Kreis ist ausgeschnitten und ruht auf 3 sehr dünnen Füßen, so daß die Luft freien Zugang zu allen Windungen der Spirale hat. Eine Glocke bedeckt den Apparat, um ihn vor jeder Verunreinigung von Ruß zu schützen. Der Streif, aus dem die Spirale besteht, ist aus drei übereinandergelegten Metalllagen zusammengesetzt: Silber, Gold und Platin. Die Goldlage, welche in der Mitte liegt, dient zur Lösung für die beiden anderen Metalle. Die Zusammenfügung hat anfangs eine merkliche Dicke, aber man plättet sie, bis ihre Gesamtdicke nur $\frac{1}{50}$ Millimeter beträgt. Man



kann hiernach sich eine Vorstellung von der ungemessen geringen Masse des Instrumentes machen, und folglich von der Schnelligkeit, mit welcher es die Temperatur der Luft annimmt, welche sie berührt. Durch die ungleiche Ausdehnung des Platins und des Silbers dreht sich die Spirale aus oder zusammen, wenn sich die Temperatur erhebt oder erniedrigt, und die Nadel bewegt sich, um jenen Bewegungen zu gehorchen. Man graduirt dieses Instrument, indem man seinen Gang mit dem eines sehr empfindlichen Quecksilberthermometers vergleicht.

Um das Breguet'sche Thermometer zur Beobachtung des Maximums und Minimums einzurichten, höhle man in der Mitte des graduirten Kreises, auf dem sich die Spitze der Nadel bewegt, eine mit diesem Kreise concentrische Furche aus, und bringe in oder auf dieser Furche zwei sehr leichte und leicht verschiebbare Laufer zu beiden Seiten der Nadel an. Diese werden durch die bewegte Nadel bis zum Maximum und Minimum fortgeschoben werden und daselbst liegen bleiben. Die Schraubenwindung des Thermometers muß stark genug sein, damit die Bewegung der Nadel durch den kleinen Widerstand des Laufers kein Hinderniß erfahre.

Zur Bestimmung der Temperatur des heißen Gebläsewindes eines Hohofens und dergleichen hat neuerdings (Sautlet **) ein Metallthermometer, eigentlich ein Pyrometer, konstruirt, welches aus zwei Stangen von verschiedenen Metallen besteht, die an einem Ende vereinigt sind, an dem anderen aber frei bleiben. Das eine Ende trägt ein Zifferblatt mit Zeiger und Getriebe, das andere einen gezahnten Quadranten, welcher in die Zähne des Getriebes eingreift.

Bei den Metallthermometern erwähnten wir so eben der Einrichtung, das Maximum und Minimum der Temperatur, die von einer Beobachtungszeit zur

*) Schweigg. Journ. Bd. XXXII. S. 497. Ann. de Chim. et de Phys. T. V. p. 312.

**) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLIV. S. 26.

anderen stattgefunden haben, anzugeben. Da die Kenntniß dieser größten und kleinsten Temperaturen in vielen Fällen wünschenswerth ist, so hat man auch die gewöhnlichen Thermometer hierzu einzurichten gesucht. Dies ist namentlich Rutherford in seinem Thermometrographen oder selbstregistrirenden Thermometer gelungen *). Es besteht dies Instrument, welches sowohl das Minimum als das Maximum anzeigt, aus zwei an derselben Fassung befestigten horizontal und mit ihren Kugeln entgegengerichtet liegenden Thermometern a und b der beistehenden Figur, deren eines Quecksilber, das andere gefärbten Weingeist enthält. In der Röhre des Quecksilberthermometers befindet sich oberhalb des Quecksilbers ein kleiner Cylinder von Stahl oder Eisen, der sich ohne



merkliche Reibung in der Röhre bewegen kann. Diesen treibt die Quecksilbersäule bei steigender Temperatur vor sich her und läßt ihn bei abnehmender an seiner Stelle liegen. Dieser Cylinder zeigt somit durch seine Stelle das Maximum der Temperatur an. In der Röhre des Weingeistthermometers ist hingegen ein stachelartiger Stift aus Glas oder Email angebracht,

der mit der Spitze nach der Kugel und mit dem Knopfe nach der Oberfläche der Flüssigkeit hin im Weingeiste ganz eingetaucht ist. Zieht sich der Weingeist bei einer Temperaturabnahme zusammen, so nimmt er diesen Zeiger mit sich fort, weil dieser die Oberfläche der flüssigen Säule als nicht so beweglich in ihren Theilen mit seinem Knopfe gleichsam nicht durchbohren kann; so wie aber der Weingeist bei eintretender Temperaturerhöhung sich ausdehnt, geht die Flüssigkeit an den Seiten des Stiftes vorbei und er bleibt an der Stelle, an welcher er sich beim tiefsten Stande dieser Säule befand, liegen. Aus der Lage dieses Stiftes erkennt man mithin das Minimum der Temperatur. Es ist wesentlich, daß die beiden Thermometer wenigstens nahe horizontal liegen, damit die Stifte leicht verschoben werden und wirklich liegen bleiben. Ist die Beobachtung gemacht, so wird die Platte, welche beide Thermometer trägt, an der Fassung so gedreht, daß die Kugel des Quecksilberthermometers unten liegt. Bei dieser Stellung fällt das Stahlstiftchen auf die Oberfläche des Quecksilbers und der Stift in dem Weingeiste sinkt bis an die Oberfläche herab, indem bei diesem Thermometer die Kugel oben steht. Sind auf diese Weise die Stifte wieder in die richtige Lage gebracht, so dreht man die Platte wieder so, daß die Thermometerröhren horizontal liegen, und hält die Platte durch eine Klemmschraube an der Fassung in dieser Lage fest. Es ist wenigstens bei dem Weingeistthermometer zweckmäßig, die Röhre nahe an der Kugel umzubiegen, damit bei einer falschen Lage des Instrumentes, bei welcher nämlich die Quecksilberkugel oben sein würde, der im Weingeiste befindliche Stift nicht in die Kugel hineinfällt. Macht man den Stift indessen länger als den Durchmesser der Kugel, so ist das Umbiegen der Röhre gar nicht nothig, zumal man leicht eine Einrichtung treffen kann, daß eine unrichtige Lage der beiden Thermometerröhren gar nicht möglich wird, sobald das ganze Instrument an einer

*) Giltb. Ann. Bd. XVII. S. 320.

bestimmten Stelle befestigt ist. Man macht dann die Platte an der festen Fassung drehbar und läßt die Klemmschraube in einem Schlitze gehen, der so lang ist, daß die horizontale Lage und die verticale Lage mit unten stehender Quecksilberfugel gerade den Enden des Spaltes entsprechen.

Trotz der horizontalen Lage überzeugte man sich doch bald, daß der Stahlstift nicht immer bei eintretender Temperaturabnahme liegen geblieben war, weil er immerhin an dem Quecksilber etwas adhärirte. Um dem vorzubeugen, brachte man später zwischen das Quecksilber und das Stahlstiftchen ein kleines, etwa einen Grad langes Glasstäbchen. Bei dieser Einrichtung wurden Stahlstiftchen und Glasstiftchen, sobald die Temperatur stieg, vorwärtsgehoben und das Stahlstiftchen blieb bei eintretender Temperaturerniedrigung liegen, wenn auch das Glasstiftchen von dem Quecksilber mit zurückgezogen werden sollte. Daß es so geschehen würde, glaubte man a priori; die Erfahrung hat aber auch dies nicht als ganz zuverlässig herausgestellt. Eintretende Erschütterungen an dem Thermometergraphen können leicht eine Verschiebung des liegen gebliebenen Stahlstiftchens zur Folge haben. Dem haben nun Negretti und Zambra durch ihr Maximum-Thermometer vollständig abgeholfen. Dove hat über dies Instrument *) Bericht abgestattet. Nach demselben entsprechen die Maxima-Thermometer, bei welchen ein außerhalb des Quecksilbers befindlicher Stift durch das sich ausdehnende Quecksilber verschoben wird, deswegen ihrem Zwecke auf eine ungenügende Weise, weil bei dem Transporte sehr leicht der Stift in das Quecksilber hineingeht, und außerdem, selbst wenn die Quecksilberfläche durch einen Glasstift oder ein gläsernes Röhrchen von dem beweglichen Stifte getrennt ist, doch in der Regel nach längerem Gebrauche der Stift nicht losreißt oder das Quecksilber sich bei ihm vorbeidrängt. Die Thermometer von Negretti und Zambra sind dicht über der Kugel rechtwinkelig umgebogen und in der Umbiegungsstelle befindet sich ein mit umgebogener und dadurch festgeklemmter Glasstift, welcher einen sehr dünnen Kanal für das sich ausdehnende Quecksilber übrig läßt. Bei horizontaler Stellung des Instrumentes trennt sich, wenn die Wärme abzunehmen beginnt, das Quecksilber an dieser Stelle, so daß man die Ablejung des Maximums später unmittelbar am Ende des getrennten Quecksilberfadens erhält. Neigt man nun das Instrument, so daß die Kugel nach unten zu stehen kommt, und giebt ihm eine kleine Erschütterung, so vereinigt sich der getrennte Faden mit dem Quecksilber in der Kugel. Das Instrument kann aus dem Grunde, weil hier kein Stift bewegt wird, eine viel kleinere Kugel erhalten, als die gewöhnlichen Maxima-Thermometer. Es ist daher in jeder Beziehung im Vortheil gegen die gewöhnliche Construction.

An dem Minimum-Thermometer hatte man auszuweisen, daß es mit Weingeist gefüllt sei, während in dem Maximum-Thermometer Quecksilber zur Füllung gebraucht wird. Es ist dies aber kein Nachtheil; denn sollen beide Instrumente einen übereinstimmenden Gang haben, so wird man bei beiden die Graduierung nach demselben Normalthermometer anfertigen, so daß es nicht einmal darauf ankommt, ob die Röhren calibriert sind. Ein wirklicher Uebelstand scheint uns jedoch dadurch herbeigeführt zu werden, daß beim Gebrauche die beiden Thermometer, selbst wenn sie zu Anfang übereinstimmen, dies nach einiger Zeit nicht mehr der

*) Monatsberichte der Berliner Akad. 1855. S. 142, vergl. Pogg. Ann. Bd. XCIX. S. 336.

Hall ist. Da nämlich das Weingeistthermometer, sobald es zu einer neuen Beobachtung geschickt gemacht werden soll, mit der Kugel nach oben gestellt werden muß, so sammelt sich endlich nach häufiger Wiederholung dieses Verfahrens am oberen Röhrende ein Theil der Flüssigkeit an, der natürlich dann der Flüssigkeitsmenge fehlt, an welcher die eigentliche Beobachtung gemacht wird. Das Thermometer kann dann mit dem Quecksilberthermometer nicht mehr übereinstimmend gehen. Es bleibt in solchem Falle nur übrig, das Weingeistthermometer aus der Fassung ganz heraus zu nehmen und mit der Kugel abwärts gerichtet einige Zeit stehen zu lassen, bis alle Flüssigkeit aus dem Ende verschwunden ist und sich mit der übrigen Flüssigkeit vereinigt hat.

In historischer Hinsicht sei noch erwähnt, daß Cavendish, wie es scheint, zuerst selbstregistrirende Thermometer in Vorschlag gebracht hat *). Minder praktische Instrumente, als das Rutherford'sche sind von Blackadder **), von Sir ***), die Verbesserungen des letzteren, des sogenannten Sirthermometer, von Traill ****), von King *****), von Keith †), von Arnim ††), von Jürgensen †††) vorgeschlagen, zum Theil auch ausgeführt worden.

Zum Messen der Temperatur in tiefen Seen hat Gay-Lussac ††††) ein selbstregistrirendes Thermometer in Vorschlag gebracht; wir begnügen uns indeß auch hier mit dieser historischen Notiz und erwähnen dafür das Maximum-Thermometer von Magnus †††††), welches zur Ermittlung der Temperatur in großen Tiefen der Erde bestimmt ist und deshalb Erd- oder Geothermometer genannt wird. Es hat sich dies Instrument in den mit ihm angestellten Versuchen als sehr brauchbar erwiesen.

Das Geothermometer besteht (s. umstehende Figur) aus einem gewöhnlichen Thermometer TA, das oben bei T offen und so getheilt ist, daß sowohl der Nullpunkt desselben, als auch der Punkt T und jeder zwischenliegende Punkt den gleichnamigen Punkten irgend einer der bekannten Thermometerscalen entsprechen, so daß, wenn man dieses Instrument in dieselbe Temperatur mit einem nach derselben Scala getheilten Thermometer bringt, beide dieselbe Anzahl von Graden zeigen. Erwärmt man nun das Instrument bis zu einer Temperatur, die höher ist als T, so wird ein Theil des in ihm enthaltenen Quecksilbers ausfließen, und bringt man es darnach wieder in eine und dieselbe Temperatur mit dem nach derselben Scala getheilten Thermometer (das wir Normalthermometer nennen wollen), so wird es nicht mehr dieselbe, sondern eine niedrigere Anzahl von Graden zeigen,

*) Philos. Transact. for 1757. p. 300. Gehler's phys. Wörterb. Neue Bearb. Bd. IX. S. 972.

**) Pogg. Ann. Bd. VII. S. 244. Baumgart. und Ettingh. Wiener Zeitschr. Bd. II. S. 78.

***) Gilb. Ann. Bd. II. S. 287. Philos. Transact. for 1782. T. LXXII. p. 72.

****) Gehler's phys. Wörterb. Bd. IX. S. 970.

*****) Baumgart. und Ettingh. Bd. V. S. 104. Edinb. Journ. of Science. No. XVII p. 113 u. No. XVIII. p. 300.

†) Gilb. Ann. Bd. XVII. S. 319. Edinb. Phil. Transact. T. IV.

††) Gilb. Ann. Bd. II. S. 289.

†††) Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 524.

††††) Ann. de Chim. et de Phys. T. III. p. 91. 117. Gehler's phys. Wörterb. Bd. IX. S. 973.

†††††) Pogg. Ann. Bd. XXII. S. 138 und Bd. XL. S. 139.

als jenes. Aus der Differenz des Standes, den es wirklich hat und dessen, den es haben sollte und der durch das Normalthermometer angezeigt wird, läßt sich leicht die Temperatur finden, bis zu der es erwärmt gewesen. Denn bei diesem Maximum der Temperatur, das wir der Kürze wegen mit x bezeichnen, war das Instrument ganz, d. i. bis T , mit Quecksilber gefüllt, es war daher so viel Quecksilber herausgetreten, daß es nur T^0 zeigte, während das Normalthermometer x^0 gezeigt haben würde. Es kommt also eigentlich nur darauf an, diese Differenz $x - T$ zu finden. Diese wird man aber leicht beobachten können, wenn man das Instrument mit dem Normalthermometer in eine Temperatur bringt, die geringer ist als x ; denn das Instrument wird dann um so viel unter dem Normalthermometer stehen, als es bei der Temperatur x über demselben gestanden hatte, nämlich um $T - x$, nur daß dieses $T - x$ die gehörigen Correctionen erleiden muß, da es hier nicht bei der Temperatur x , sondern bei einer niedrigeren gemessen wird.



Diese Betrachtung macht es auch zugleich anschaulich, daß zur Bestimmung des Maximums der Temperatur keineswegs gerade das ursprüngliche Quecksilbervolumen, nach welchem das Instrument getheilt worden, und daß es bei der Temperatur 0^0 gerade bis Null erfüllt, in demselben vor dem Versuche enthalten zu sein brauche; sondern daß dieses Quecksilbervolumen größer oder kleiner sein dürfe, wenn es nur hinreichend ist, das Instrument bei der Temperatur x^0 gänzlich, d. h. bis T , zu füllen. Dieser Umstand aber, daß die Bestimmung des Maximums unabhängig ist von der Quecksilbermenge, die vor dem Versuche in dem Instrumente enthalten gewesen, macht dasselbe eigentlich erst recht anwendbar. Denn man braucht nur dafür zu sorgen, daß es nicht zu wenig Quecksilber enthalte, ohne daß es auf die Quantität ankommt, die man zu dem Ende einführt; und die ganze Beobachtung besteht nur darin, daß man nach dem Versuche das Instrument mit dem Normalthermometer in eine und dieselbe Temperatur bringt, um den Stand von beiden zu verzeichnen.

Hierzu bedient man sich in Ermangelung einer anderen constanten Temperatur, am besten eines Cimers mit frischem Brunnenwasser, der bis zu der Zeit, wo die Thermometer einen unveränderlichen Stand angenommen haben, seine Wärme nicht ändert. Die Vergleichung in der Luft könnte durch unvorsichtige Annäherung des Körpers, oder durch Zug und andere zufällige Umstände leicht einen Irrthum veranlassen. Besonders hat man auch darauf zu achten, daß das Instrument, nachdem es den Ort verlassen hat, dessen Temperatur x es annehmen soll, nicht noch höher erwärmt werde, bevor der Stand desselben mit dem des Normalthermometers verglichen ist. Deshalb darf man sich bei Bohrlöchern oder verlassenen Schächten nicht bloß damit begnügen, die Temperatur der größten Tiefe zu untersuchen, sondern man muß auch die von verschiedenen anderen weniger tief liegenden Punkten bestimmen, um sicher zu sein, daß das Instrument sein Maximum nicht in einer geringeren Tiefe erreicht habe, als die, bis zu der es herabgelassen worden.

Man sieht leicht ein, daß die Genauigkeit des Instrumentes davon abhängt,

daß von dem Quecksilber, das oben bei T durch die Erwärmung heraustritt, beim Erkalten nichts wieder zurückgehe. Dies kann man nur erreichen, wenn man das Thermometerrohr bei T ganz fein auszieht und dann scharf abschneidet. Bei den Instrumenten des Erfinders ist die Oeffnung bei T so fein, daß man sie kaum mit bloßen Augen sehen kann. Damit aber jedes aus derselben hervortretende Quecksilberkugelnchen sogleich abfalle, ist die Spitze wie in Figur S. 338 so gebogen, daß sie horizontal steht. Die Thermometerröhre selbst hat einen ziemlich weiten inneren Durchmesser und der daran geblasene Behälter ist so groß, daß jeder Grad der Scala (Réaumur'sche) 0,5 Zoll beträgt. Sollte also auch ein Quecksilberkugelnchen an der Spitze hängen bleiben, ohne sogleich abzufallen und sich beim Abkühlen wieder in das Thermometerrohr mit hineinziehen, so ist dies wegen der Feinheit der Oeffnung, durch die es mit dem übrigen Quecksilber zusammenhängt, doch stets so klein, daß es kaum $\frac{1}{20}$ eines solchen Grades beträgt. Uebrigens kann man bei Anfertigung des Instrumentes mit einiger Geschicklichkeit es leicht dahin bringen, daß auch jede noch so geringe Menge Quecksilber sogleich beim Heraustrreten abfalle.

Die Feinheit der Oeffnung bei T ist keineswegs ein Hinderniß, um neues Quecksilber einzufüllen, wenn etwa zu viel herausgetreten sein sollte. Man legt zu dem Ende das Instrument horizontal, paßt auf die alsdann vertical stehende Spitze einen Trichter, in den man einige Tropfen ganz reines und vollkommen trocknes Quecksilber gießt, und erwärmt die Kugel, bis das ganze Rohr mit Quecksilber gefüllt ist; läßt man sie alsdann wieder erkalten, so folgt das Quecksilber aus dem Trichter dem in der Röhre befindlichen bei seiner Zusammenziehung. Als Trichter nimmt der Erfinder einen gewöhnlichen Kork, der oben so vertieft ist, daß er einige Tropfen Quecksilber faßt und unten eine kleine Oeffnung hat, mit der er auf die Spitze bei T aufgepaßt wird. Nebenstehende Figur stellt einen Durchschnitt desselben dar.



Um nun die für die Scala des Instrumentes nöthigen Punkte zu bestimmen, füllt man dasselbe auf die eben beschriebene Art mit Quecksilber, und bringt es, ohne den Trichter abzunehmen, mit dem Normalthermometer, nach dessen Scala es getheilt werden soll, in eine beliebige unveränderliche Temperatur T. Wenn man sicher ist, daß dasselbe diese Temperatur angenommen, nimmt man den Trichter mit dem überschüssigen Quecksilber ab und bringt das Instrument zuerst in sein zerstoßenes Eis, um den Nullpunkt desselben zu bestimmen, und darauf mit dem Normalthermometer in verschiedene Temperaturen, die zwischen 0° und T° liegen, um so viele Punkte der Scala als nöthig zu bestimmen. Sind diese Punkte einmal bestimmt, so kommt es nicht mehr darauf an, daß gerade das Quecksilbervolumen, dessen Ausdehnung sie anzeigen (das schon oben das ursprüngliche Quecksilbervolumen genannt worden ist), in dem Instrumente bleibe; man braucht sich daher nun nicht mehr zu scheuen, dasselbe einer Temperatur auszusetzen, die höher ist als T.

Das Zufüllen von Quecksilber wird sehr erschwert, wenn das Thermometerrohr inwendig feucht werden sollte; man muß deshalb dafür sorgen, daß besonders beim Hinablassen des Instrumentes in Wasser, von diesem nichts durch die Oeffnung bei T eindringen könne. Um dies zu vermeiden, befestigt der Erfinder über die Röhre und die daran befindliche Messingcala eine enge Glasglocke h h (s. umstehende Fig. 1.), deren oberes verschlossenes Ende die Spitze bei T so nahe als

möglich berührt und versetzt dieselbe unten mit einer Oeffnung, damit das Wasser, wenn das Instrument in dasselbe hinabgesenkt wird, ungehindert seinen Druck auf die in der Glocke befindliche Luft ausüben könne. Wird diese nun hierdurch auch zusammengedrückt, so kann diese Zusammendrückung doch niemals so weit gehen, daß das Wasser die Oeffnung bei T erreichen könnte.



Der Druck, der in der Tiefe auf das Instrument ausgeübt wird, wirkt auf das Thermometer, sowohl von außen, als auch durch die Oeffnung bei T von innen. Dieser Druck mag daher noch so stark werden, man hat niemals eine Beschädigung des Glases durch denselben zu befürchten. Allein da das Glas und das Quecksilber demselben Drucke ausgesetzt werden, die Zusammendrückbarkeit des Quecksilbers aber bedeutender als die des Glases ist, so wird um so viel weniger Quecksilber aus der Oeffnung bei T heraustreten, als dieser Unterschied der Zusammendrückbarkeit beträgt. Colladon und Sturm *) haben diese Größe bestimmt, und gefunden, daß sie für den Druck von einer Atmosphäre 1,75 Milliontheile des angewandten Quecksilbervolumens beträgt. Hieraus kann man leicht berechnen, wie viel Quecksilber zu wenig aus dem Instrumente entwichen ist, und darnach die Beobachtung corrigiren.

Man braucht zwar die Thermometerkugel des Instrumentes nicht größer zu machen, als die eines gewöhnlichen Thermometers, allein die zunehmende Größe derselben, von der auch die Größe der einzelnen Grade der Scala abhängig ist, vermehrt die Genauigkeit, ohne Uebelstände herbeizuführen; da man doch jedenfalls das Instrument so lange an der zu untersuchenden Stelle lassen muß, bis auch die größere Quecksilbermasse die Temperatur derselben vollständig angenommen hat, wozu beiläufig nur etwa eine Viertelstunde erforderlich ist. Allein je größer die Kugel ist, um so leichter ist sie auch dem Zerbrecben ausgesetzt; man muß daher Sorge tragen, sie gehörig zu verwahren. Dies erreicht der Verfasser dadurch, daß er statt der Kugel einen cylindrischen Quecksilberbehälter wählt und denselben zwischen zwei Messingscheiben a b und c d (s. nebenstehende Figur) einschließt, die durch drei Schrauben a e, b d u. mit einander verbunden sind; in jede der beiden Scheiben ist eine Korkplatte eingelassen, so daß der Cylinder nur von den Korkplatten berührt wird, in die er etwas versenkt ist. Der obere Kork ist durchbohrt und durch die Oeffnung desselben geht das Rohr des Thermometers. Auf diesem sind die nach dem Normalthermometer bestimmten Punkte mit einem Diamant verzeichnet, damit, wenn man das Instrument aus einander nehmen sollte, man sich immer wieder überzeugen könne, daß diese auch wirklich gerade über den entsprechenden Punkten der Messingscala liegen. Sollte dieses nicht genau der Fall sein, so kann man es leicht dahin bringen, indem man die

*) Pogg. Ann. Bd. XII. S. 61.

Schrauben a c , b d x . ein wenig anzieht oder nachläßt, wodurch die Messingscala, die nur auf die obere Platte c d aufgeschraubt ist, dem Cylinder genähert oder von ihm entfernt wird. Die Platte c d ist bei fg mit einem Schraubengewinde versehen, um auf dieses eine Messinghülse zu schrauben, in welche eine Glasglocke eingefittet ist. Diese Messinghülse hat eine kleine Oeffnung, damit das Wasser bei vermehrtem Druck ungehindert in die Glocke eintreten könne.

Um nun den genauen Werth von x der gesuchten Temperatur zu finden, so bezeichne man das ursprüngliche Quecksilbervolumen, wonach das Instrument getheilt worden, und das es bei 0° bis zum Nullpunkt füllt, mit V ; und das Quecksilbervolumen, das nach dem Versuche in dem Instrumente enthalten ist, gleichfalls bei der Temperatur 0° betrachtet, mit V' ; ferner sei t die Temperatur, in welche das Instrument zur Vergleichung mit dem Normalthermometer nach dem Versuche gebracht wird, und t' die Anzahl von Graden, welche das Instrument bei dieser Temperatur einnimmt; endlich $\frac{1}{\delta}$ die Ausdehnung des Quecksilbers für einen Grad der Scala, nach welcher das Instrument getheilt worden, so hat man folgende Gleichung: $V' \left(1 + \frac{t'}{\delta}\right) = V \left(1 + \frac{t}{\delta}\right)$, weil das Volumen V' bei der Temperatur t denselben Raum einnimmt, den V , als das Instrument getheilt wurde, bei der Temperatur t' einnahm.

Ferner hat man die Gleichung: $V' \left(2 + \frac{x}{\delta}\right) = V \left(1 + \frac{T}{\delta}\right)$, denn bei der Temperatur x hatte sich V' so ausgedehnt, daß es das ganze Instrument erfüllte, d. h. denselben Raum einnahm, den V bei der Temperatur T eingenommen.

Dividirt man die obigen Gleichungen durch einander, so erhält man:

$$\frac{1 + \frac{t}{\delta}}{1 + \frac{x}{\delta}} = \frac{1 + \frac{t'}{\delta}}{1 + \frac{T}{\delta}} \quad \text{oder:} \quad \frac{\delta + t}{\delta + x} = \frac{\delta + t'}{\delta + T}; \quad \text{woraus sich ergibt:}$$

$$x = \frac{\delta + T}{\delta + t'} (\delta + t) - \delta, \quad \text{oder} \quad x = \frac{(t - t' + T) \delta + tT}{\delta + t'}.$$

Da Colladon und Sturm den Unterschied in der Zusammendrückbarkeit des Quecksilbers und des Glases für den Druck einer Atmosphäre von $0^m,76$ Quecksilber oder $10^m,32$ Wasserhöhe zu $\frac{1,73}{1000000}$ gefunden haben, so beträgt die Quecksilbermenge, die durch den Druck von einer solchen Atmosphäre verhindert worden aus dem Instrumente zu entweichen, $\frac{1,73}{1000000} \cdot V'$, und wenn man diese Größe in Graden des Instrumentes ausdrückt: $\frac{1,73 \cdot V'}{1000000} \cdot \frac{\delta}{V}$ Grade.

Da nun V' nur um sehr wenig von V unterschieden ist, so kann man beide, ohne einen Fehler zu begehen, einander gleich setzen, und erhält dann:

$\frac{1,73}{1000000} \delta$. Bezeichnet nun h die Höhe der Wassersäule, die, wenn das Instrument in die Tiefe herabgelassen ist, auf dasselbe drückt, so ist, da $10^m,32 = 32,8$ preussische Fuß: $\frac{h}{32,8}$ diese Höhe in Atmosphären ausgedrückt, und folglich ist: $\frac{1,73}{1000000} \cdot \frac{\delta h}{32,8}$ die Anzahl von Graden, um die sich das Quecksilber weniger ausgedehnt hat, als es sich ausgedehnt haben würde, wenn es diesem Drucke nicht ausgesetzt gewesen wäre; man muß daher diese Größe noch zu dem obigen Werthe von x hinzufügen, wodurch dieser dann wird

$$x = \frac{(1 - t' + T) \delta + tT}{\delta + t'} + \frac{1,73}{1000000} \cdot \frac{\delta h}{32,8}.$$

Da δ für alle gebräuchliche Thermometerscalen, selbst die Fahrenheit'sche, sehr groß ist, im Vergleich mit t' , t und T , so sind die nicht mit δ multiplicirten Glieder sehr klein, im Vergleich mit den übrigen, und können daher gänzlich vernachlässigt werden, wodurch man erhält: $x = 1 - t' + T + \frac{1,73}{1000000} \cdot \frac{\delta h}{32,8}.$

Ueber das zu thermometrischen Beobachtungen in der Meeres Tiefe von Lenz angegebene Bathometer, mit welchem die im Art. Erde, Bd. II. S. 923 angeführten Beobachtungen angestellt worden sind, glauben wir uns mit dem bloßen Nachweise *) begnügen zu können.

Ueber das zu thermometrischen Höhenmessungen verwendete Thermometer enthält das Vollständige Art. Höhenmessung, thermometrische, Bd. III. S. 826 ff.

Den Pyrometern ist ein eigener Artikel gewidmet: Bd. V. S. 515; eben so den Differentialthermometern, Bd. II. S. 503. In Betreff der letzteren ist indessen noch folgende Notiz zu erwähnen. Wenn zwischen zwei Thermometerrohren von ungleicher Weite — deren Querschnitt sich z. B. wie 1 zu 4 verhält — eine Kugel geblasen und der Apparat wie ein gewöhnliches Thermometer mit Quecksilber gefüllt ist, so bewegt sich bei Temperaturerhöhung nur das Quecksilberende in der weiten Röhre und bei Temperaturniedrigung nur das Quecksilber in der engen Röhre. Vorausgesetzt wird hierbei, daß beide eng genug sind, daß sich nicht bei constanter Temperatur das Quecksilber aus der engeren Röhre ganz in die Kugel ziehe. B. Stewart glaubt nun **), daß ein so eingerichtetes Thermometer sich mit Nutzen anwenden lasse, die von einem Gegenstande durch Strahlung dem Thermometer mitgetheilte Wärme zu messen, indem man die Bestrahlung oft wiederholt vor sich gehen lasse und wieder unterbreche, und so den Effect einer einmaligen Bestrahlung vervielfacht erhalte.

H. C.

*) Pogg. Ann. Bd. XX. S. 73.

**) Aus dem Athenäum vom 23. Aug. 1856 im Arch. ph. nat. T. XXXIII. p. 60; vergl. Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie, Physik u. von J. Liebig u. G. Kopp für 1856. S. 46.

Thierische Elektricität. Man versteht hierunter diejenigen elektrischen Erscheinungen, welche in thierischen Organismen oder an Theilen derselben, im lebenden Zustande oder in einem Zustande, worin sie noch einige der wichtigsten Lebendseigenschaften verrathen, vorkommen, jedoch so, daß die Vorrichtungen, deren man sich zur Wahrnehmung dieser Erscheinungen bedient, keinen Beitrag zur Entstehung derselben geben. Die in solcher Art und Weise an Organismen überhaupt, pflanzlichen oder thierischen, wahrzunehmende Elektricität nennt man *physiologische Elektricität*. Manches hierher gehörige ist bereits in den Artikeln Elektricität und Galvanismus, Fische, elektrische und Pflanzen-Elektricität zur Sprache gekommen.

Zunächst ist der thierische Körper, wie jeder andere, fähig, einem äußeren elektrischen Einflusse nachzugeben; er ist dem Gesetze der elektrischen Influenz (Vertheilung) unterworfen, und man weiß, daß man denselben in der Nähe des Conductors einer thätigen Elektrisirmaschine lebhafteste Funken entlocken kann. Diese Funken gehören selbstverständlich nicht ins Gebiet der thierischen Elektricität, und eben so wenig diejenigen, welche an Haaren und thierischem Pelzwerk durch Reiben, Schlagen, Streichen und dergleichen zu Tage treten können.

Beiläufig erwähnen wir hier der elektrischen Spannungserscheinungen, die man häufig an Menschen beobachtet hat. Die betreffenden Versuche geschahen meist in der Weise, daß sich Menschen auf einen Isolirtstuhl stellten und einen Theil ihres Leibes, in der Regel die Hand, mit einem Elektroskop in Berührung brachten. Auch wurde mit dem Elektroskope zuweilen ein Condensator in Verbindung gesetzt. Man erhielt dann meist Anzeigen positiver Elektricität. Hier bietet sich nun zunächst eine Reibung der Kleider an der Haut als eine Quelle dieser Elektricität dar. Doch bemerkt Pfaß *), der durch Ahrens viele solcher Versuche anstellen ließ, daß die hier beobachtete Elektricität wohl nicht von dem Reiben der Kleider an der Oberfläche herrühre, was aus dem Umstande hervorgehe, daß auch der ganz nackte Körper dieselbe Elektricität zeige. Gleichwohl wäre es noch möglich, daß diese Elektricität aus jener Quelle stamme, da man, wie Du Bois-Reymond **) bemerkt, einen Menschen nicht, gleich einem Krystall, durch die Flamme ziehen kann, um ihn von jeder anhaftenden Spur von Elektricität zu befreien. Rasse jun., der diese Versuche wiederholte und bei allen untersuchten Menschen positive Elektricität fand, leitete dieselbe aus einer Reibung zwischen der elektrostatischen Vorrichtung und dem Körper ab.

Auch fehlt es nicht an einigen Erzählungen, nach welchen in Menschen und Thieren elektrische Anhäufungen bis zu Funken und Schlägen stattfanden. Doch hat man denselben nur wenig Glauben geschenkt.

Beiläufig erwähnen wir auch, daß John Murray die frisch gezogenen Spinnfäden, namentlich das Gespinnst der *Aranea aeronautica* negativ elektrisch fand.

Setzt man an einen thierischen Körper irgend wie ungleichartige Metalle an, so lassen sich mittelst eines Galvanometers elektrische Ströme darthun, die aber keineswegs ins Bereich der thierischen Elektricität gehören; denn sie müssen ihrem Ursprunge nach eben so wohl auf die beiden ungleichartigen Metalle, als auf den

*) Medel's Archiv für die Physiologie. Bd. III. 1817. S. 161.

**) Untersuchungen über thierische Elektricität. Bd. I. S. 15 ff.

Körper, der hier die Rolle eines feuchten Leiters spielt, bezogen werden. Anders verhält es sich dagegen mit der Elektricität, welche die elektrischen Fische fund geben; die Quelle dieser Elektricität liegt lediglich in diesen Thieren selbst. Die thierische Elektricität ist aber eben eine solche, deren Auftreten durch die organische Einrichtung ohne äußere Zuthat bedingt ist, wobei denn die Möglichkeit immerhin bestehen bleibt, daß diese Elektricität zuletzt dennoch durch die Berührung ungleichartiger organischer Massen - oder Körperteilchen veranlaßt werde.

Höchst wahrscheinlich gehören auch die von *Donné* aufgefundenen elektrischen Ströme zwischen sauer und alkalisch reagirenden Absonderungsorganen nicht dem Gebiete der thierischen Elektricität an. Einen derartigen Strom erhält man unter anderen, wenn man das eine Platinende eines Multiplikators mit einer saueren Absonderungsfläche, z. B. mit dem Innern des Magens, das andere mit einer alkalischen, z. B. mit dem Innern der Leber in Berührung bringt. Insofern nun hier, wie es wahrscheinlich ist, das Hervortreten des betreffenden Stromes durch die Berührung der metallischen Multiplikatorenden mit den resp. sauer und alkalisch reagirenden Eingeweidenden bedingt ist, kann dieser Strom nicht den thierisch elektrischen Strömen beigezählt werden *).

Im Art. *Galvanismus*, Bd. III. S. 311 ff. haben wir die Versuche *Galvani's* am präparirten Frosche in Erwähnung gebracht, und auch bemerkt, daß es *Galvani* gelungen sei, mit Ausschluß aller metallischen Leiter durch bloße Berührung von Muskeln und Nerven Zuckungen hervorzubringen. Sodann bemerkte auch *A. v. Humboldt* **) lebhafteste Muskelbewegungen bei der bloßen Berührung von Nerv und Muskel, so wie auch, wenn thierische Theile eine Leitung von einem Theile des Nerven zum anderen bildeten. Mechanische Reizungen waren dabei ausgeschlossen. Auf seine Versuche gestützt erklärte sich *Humboldt* gegen *Volta's* Deutung dieser Erscheinungen, nach welcher hier eine Störung des elektrischen Gleichgewichtes durch den Contact von wenigstens drei heterogenen Substanzen herbeigeführt werden sollte; denn in jenen Versuchen waren nur zwei heterogene Stoffe, ein inserirter Nerv, ein Nervenstück und Muskelfleisch in Berührung.

Galvani stellte zur weiteren Begründung seiner Ansicht über die thierische Elektricität noch folgenden Versuch an, den *Du Bois-Reymond* ***) als Grundversuch der elektrischen Nervenphysik anerkennt. *Galvani* schnitt nämlich an einem in der gewöhnlichen Weise zugerichteten Frosche beide Ischiadnerven dicht an ihrer Austrittsstelle aus dem Wirbelfanal ab, und trennte beide Beine von einander, so daß jedes mit seinem Nerven vereinzelt zurückblieb. Hiernach krümmte er den einen Nerven in Gestalt eines kleinen Bogens, hob den anderen mit einem Glasstäbchen auf, und ließ ihn auf den durch den ersten gebildeten Bogen mit der Rückseite fallen, daß er diesen in zwei Punkten traf, deren einer der Querschnitt des ruhenden Nerven war. Er sah das Bein des fallenden Nerven und manchmal auch beide Beine zucken. Der Versuch glückte, wenn beide Beine vollständig isolirt waren, und durchaus keine andere Verbindung mit einander hatten, als durch

*) Vergl. *Du Bois a. a. O.* Bd. I. S. 486 ff.

**) Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfasern nebst Vermuthungen über den chemischen Proceß des Lebens in der Thier- und Pflanzenwelt. 1797.

***) *A. a. O.* S. 83 ff.

die Verührung der Nerven auf die vorbezeichnete Weise. „Welche Ungleichartigkeit, sagt Galvani, wird hier nun wohl zu Hülfe gerufen werden, wo die bloßen Nerven mit einander in Verührung kommen? Vielleicht wird man seine Zuflucht zu dem Reize nehmen wollen, dem sie beim Fall des einen auf den anderen ausgesetzt sind. Aber warum erfolgt keine Zuckung, wenn man dieselben Nerven auf einen viel härteren und rauheren Boden aus einem nicht leitenden Stoffe, Schwefel, Glas, aufschlagen läßt? Und doch müßte in diesem Falle die mechanische Gewaltthätigkeit weit bedeutender sein.“

Obwohl nun spätere Untersuchungen gelehrt haben, daß man es hier nicht mit drei gesonderten, heterogenen Substanzen (etwa Muskel, Nerv und einer Flüssigkeit, die zusammen eine gewöhnliche Volta'sche oder Galvani'sche Kette bilden) zu thun hat, so ist damit doch die von Volta aufgestellte Bedingung einer elektrischen Strömung, nämlich eben der Contact von wenigstens drei heterogenen Substanzen, keineswegs beseitigt, sondern nur weiter zurückgewiesen in den Nerv oder Muskel selbst, so also, daß in deren Constitution elektromotorische Verhältnisse begründet sind.

Nachdem Nobili die Empfindlichkeit des Schweigger'schen elektromagnetischen Multiplikators durch Einführung einer astatischen Doppelnadel beträchtlich gesteigert hatte, fand er sich auch bald veranlaßt, vermittelt dieses Multiplikators elektrische Ströme in den Nerven aufzusuchen. Derselbe fand nun bei Fröschen durch die Nadel des Multiplikators einen Strom angezeigt, der von den Muskeln zu den Nerven oder von den Füßen zu dem Kopf des Thieres geht. Dieser Strom ist unter dem Namen des Froschstromes bekannt, der späterhin auch von Matteucci näher untersucht wurde. Derselbe gebrauchte einen Courjon'schen Multiplikator von 2500 Windungen mit Platinenden, welche in zwei Porzellanschalen mit verdünnter Salzlösung tauchten. Die letzteren waren durch dicke Baumwollentuche mit zwei gleichen Gefäßen verbunden, in die der Frosch getaucht wurde. Diese Einrichtung wurde getroffen, damit durch das Eintauchen des Frosches keine Veränderung der Flüssigkeit in der Nähe der Platinenden herbeigeführt werde. In das eine Gefäß tauchten die Nerven, in das andere die Muskeln oder Sehnen des Unterschenkels. Man kann aber auch nach Matteucci zum Behufe der Wahrnehmung des genannten Stromes den ganzen Frosch enthäuten, die Füße in das eine, und den Kopf oder Rücken in das andere Gefäß tauchen.

Diesen sogenannten Froschstrom nahm nun Du Bois-Reymond zum Ausgangspunkte seiner umfassenden Untersuchungen über die thierische Electricität. Es gelang ihm nach einer langen Reihe mühsamer Studien, in allen Theilen des Nervensystems aller Thiere, und eben so auch in allen Muskeln aller Thiere elektrische Ströme nachzuweisen, welche die Nadel eines empfindlichen Multiplikators sehr merklich zu afficiren vermögen. Den Froschstrom führte er zurück auf einen allgemein vorhandenen Muskelstrom. — Rückichtlich des zu diesen Untersuchungen benutzten Multiplikators können wir hier auf den Art. Multiplikator, Bd. IV. S. 1126 ff. verweisen *). Die Drahtenden waren mit zwei gleichartigen Platinplatten verbunden, welche gleich tief in zwei Glasgefäße mit Salzwasser tauchten. Die Platten sind aber nur so lange mit Gewißheit als gleichartig zu betrachten,

*) Vergl. auch Du Bois Untersuchungen über thierische Electricität Bd. II. S. 477, wo die Beschreibung eines Multiplikators von 24160 Windungen gegeben ist.

als sie in der Flüssigkeit, in der sie es geworden sind, völlig unverrückt stehen bleiben. Sonst entstehen Ströme, die zur Klasse derjenigen gehören, welche von dem ungleichzeitigen Eintauchen der Platten herrühren. Setzt man z. B., wie Du Bois-Reymond bemerkt, eine Platte in die Höhe und taucht sie wieder ein, oder schwenkt man die Flüssigkeit so, daß sie vorher unbenetzte Punkte der metallischen Oberfläche bespült, so entsteht alsbald ein Strom, der die Richtung von der bewegten oder frisch bespülten Platte zu der ungestört gebliebenen hat. Die Platten wurden nun bis über die Oberfläche der Flüssigkeit in einen dicht anliegenden Mantel von Kleeppapier gehüllt, welcher sich fortwährend mit Flüssigkeit getränkt hält, so daß beim Anwogen der letzteren keine noch unbenetzten Stellen der metallischen Oberflächen getroffen werden. Mit seinem oberen Rande wird das Papier mittelst unfiltrirten Schellackfirnisses an die Platte festgeklebt. Dabei hat man sich vor Luftblasen zu hüten, die sich etwa unter demselben gefangen haben. Zwischen dem oberen Saume der Bekleidung und dem Rande der Platte, der in eine Blechklemme eingespannt wird, ist die Platte mit Copal, der in Aether gelöst ist, zu firnissen. Die beiden Gefäße, in welche die Platten kommen, sind cylindrische mit Bernsteinlack gefirnisste Gläser, welche in kreisförmige Vertiefungen eines gefirnissten Bretchens gestellt werden. Die Gefäße sind mit gesättigter, filtrirter Kochsalzlösung gefüllt, in welche die Platten bis zu einer gewissen Tiefe eintauchen. Diese beiden Gefäße communiciren durch zwei mit gesättigter Kochsalzlösung gefüllte und mit Ausschluß der Luft an ihren beiden Oeffnungen mit feuchter thierischer Blase zugebundene Glasröhren mit zwei anderen Gefäßen, die gleichfalls mit derselben Salzlösung gefüllt sind.

Nun ist die Vorrichtung geeignet zur Anstellung der gröberen thierisch-electrischen Versuche, zu denen man sich des Galvani'schen Präparates oder auch des ganzen Frosches bedienen kann. Sollte der letztere nach dem Abziehen der Haut heftig bluten, so wartet man die Stillung der Blutung ab, und befreit ihn von dem gebildeten Gerinnsel wenigstens an den Orten, wo er mit der Salzlösung der Gefäße in Berührung kommen soll. Sonst kann das Blut wegen seiner alkalischen Eigenschaften, und auch, indem es die Salzlösung verdünnt, einen Strom zur gesättigt und neutral gebliebenen Lösung des anderen Gefäßes hervorbringen und dadurch den Froschstrom verringern oder vergrößern, je nachdem die Blutung vorzugsweise am Kopf oder an den Hinterfüßen geschah. Das Auflegen des Frosches geschieht nach Du Bois-Reymond am besten in folgender Weise. Man faßt mit der rechten Hand die Vorderpfoten des Frosches, die rechte zwischen Daumen und Zeige-, die linke zwischen Zeige- und dritten Finger, den Rücken des Zeigefingers gegen die Brust des Frosches, die Spitzen der Finger nach seinen Beinen gekehrt; taucht die Füße, bis zur Hälfte des Tarus, in das eine (zur Rechten stehende) Gefäß, den Rücken des Frosches nach dem zur linken befindlichen gewendet; drückt mit der linken Hand die Knöchel gegen den Rand des Glases an, und beugt den Frosch rücklings über mit dem Gesicht und der Nasenspitze behutsam in das andere Gefäß hinein, wobei das eingebogene Rückgrat mit seiner Höhlung nach unten zu liegen kommt. Die Berührungsflächen mit der Salzlösung sind groß genug, wenn sie dem kleinsten Querschnitte, den der Frosch selbst darbietet, also dem des Knie- oder Fußgelenkes, an Ausdehnung nicht nachstehen. Ist nun der Frosch in dem Zustande, den man als den normalen betrachten kann, so verläßt die Nadel augenblicklich den Nullpunkt und zeigt einen Strom in dem Frosch

von den Füßen nach dem Kopfe, in dem Multiplicatordraht von dem Kopfe nach den Füßen des Frosches an.

Zu den feineren thierisch-elektrischen Versuchen, z. B. zur Untersuchung des elektromotorischen Verhaltens verschiedener Punkte eines Muskels oder eines Nerven, mußte Du Bois-Reymond *) noch andere Einrichtungen treffen.

Wir können hier nur erwähnen, daß Compressen oder Bäusche aus Lagen feinen Filzpapiers angewendet wurden, welche mit der gesättigten Salzlösung getränkt, Verlängerungen der Zuleitungsflüssigkeit beider Gläser von passender Gestalt und Consistenz und geeigneten Maßverhältnissen vorstellten, um Ströme von kleinen und zarten thierischen Theilen leicht aufnehmen und fortführen zu können. Dieselben ruhten, außer auf dem Rande der Gefäße selbst, innerhalb der letzteren noch auf gefirnigten Holzvorsprüngen, welche an die Wand der Gläser gefittet waren. Zwischen diesen Bäuschen wurde dann durch den Muskel oder Nerv eine leitende Verbindung hergestellt. Uebrigens waren die thierischen Theile auch vor dem Anäßen durch die Salzlösung zu schützen. Zu diesem Behufe wurden aus einer gut ausgewaschenen, möglichst von Fett befreiten, in stark gespanntem Zustande getrockneten, also glatten, und nicht allzudicken Schweinsblase viereckige Stückchen ausgeschnitten, dieselben in Hühnereiweiß aufgeweicht, und an den Stellen der Bäusche ausgebreitet, wo die thierischen Theile ruhen sollten. Vom Weißen des Eies darf man dazu nur die äußerste, dünnflüssige Schicht nehmen. — Bezüglich weiterer Vorsichtsmaßregeln müssen wir auf die citirte Schrift selbst verweisen.

Wir lassen nun das von Du Bois-Reymond **) aufgefundene Gesetz des Muskelstromes folgen:

„Wird ein beliebiger Punkt des natürlichen oder künstlichen Längsschnittes Aines Muskels (oder seiner Oberfläche) mit einem gleichfalls beliebigen Punkte des natürlichen oder künstlichen Querschnittes desselben Muskels dergestalt in Verbindung gebracht, daß dadurch keine Spannung entsteht, so zeigt eine in den unwirksamen leitenden Bogen eingeschaltete Stromprüfende Vorrichtung (Multiplicator) gleichwohl einen elektrischen Strom an, der von dem Punkte des Längsschnittes in dem Bogen zu dem Punkte des Querschnittes geht.“

Schwächere Ströme zeigen sich, wenn zwei Punkte eines Querschnittes oder zwei Punkte eines Längsschnittes in Verbindung gebracht werden, und zwar in folgender Weise.

„Wird ein Punkt eines natürlichen oder künstlichen Querschnittes eines Muskels auf die vorige Weise in Verbindung gebracht mit einem anderen Punkte desselben Querschnittes, oder einem Punkte eines anderen natürlichen oder künstlichen Querschnittes desselben Muskels, den man sich als Cylinder denken kann, und sind beide Punkte von dem Mittelpunkte der Kreise, welche die senkrecht auf die Axe des Cylinders gedachten Querschnitte darstellen, ungleich weit entfernt: so zeigt die Stromprüfende Vorrichtung abermals einen Strom an, der aber viel schwächer als der vorhergehende, und von dem weiter vom Mittelpunkte entfernten Punkte, in dem Bogen, zu dem ihm näher gelegenen gerichtet ist.“

*) Untersuchungen über thierische Electricität. Bd. I. S. 221 ff.

**) A. a. O. S. 515.

„Wird drittens ein dem geometrisch mittleren Querschnitte des Cylinders, den der Muskel vorstellt, näher gelegener Punkt des natürlichen oder künstlichen Längsschnittes auf die nämliche Weise in Verbindung gebracht mit einem entfernter von jenem Querschnitte gelegenen Punkte des natürlichen oder künstlichen Längsschnittes desselben Muskels: so zeigt die stromprüfende Vorrichtung abermals einen Strom an, der viel schwächer ist als der zwischen beliebigen Punkten des natürlichen oder künstlichen Längs- und Querschnittes, dem zwischen verschiedenen Punkten eines oder zweier natürlichen oder künstlichen Querschnitte aber an Stärke gleichkommt, und von dem dem mittleren Querschnitte näher gelegenen Punkte, in dem Bogen, zu dem davon entfernteren gerichtet ist.“

„Die stromprüfende Vorrichtung bleibt dagegen in Ruhe, wenn die beiden durch den unwirksam leitenden Bogen verbundenen Punkte auf einem oder zweien natürlichen oder künstlichen Querschnitten gleichen Abstand vom Mittelpunkte, oder auf dem natürlichen oder künstlichen Längsschnitte gleichen Abstand vom mittleren Querschnitte haben.“

Jedes kleinste noch reizbare Stück eines Muskels vermag in der obigen Weise einen Strom zu geben.

Das Schnengewebe verhält sich als unwirksamer leitender Ueberzug über ein darunter gelegenes, der Substanz des Muskels selbst angehöriges ungleichartiges Element, und zwar als ein Ueberzug über den natürlichen Querschnitt des Muskels. Unter Querschnitt ist eine so beschaffene Flächenbegrenzung des Muskels zu verstehen, daß darin nur Grundflächen der als Prismen oder Cylinder gedachten Formelemente des Muskels enthalten sind, und unter Längsschnitt eine so beschaffene Flächenbegrenzung am Muskel, daß darin nur Mäntel oder Seitenflächen der als Cylinder oder Prismen gedachten Formelemente des Muskels enthalten sind.

Du Bois-Reymond *) weist nun weiter nach, daß es das Primitivmuskelfaserbündel selber ist, in dem der Strom erzeugt wird, während die Hülle desselben einen unwirksamen leitenden Ueberzug vorstellt. Sodann sucht er die Vertheilung der ungleichartigen Gebilde im Innern des Muskels zu ermitteln, wodurch eine Anordnung der Ströme, wie sie wahrgenommen wurde, bedingt sein muß oder kann. Zunächst denkt er sich einen durch und durch kupfernen, am Mantel verzinkten, an den Grundflächen roth gebliebenen Cylinder. Legt man nun einen aus einem feuchten Leiter bestehenden Bogen mit einem seiner Enden an den Mantel, mit dem anderen an eine der Grundflächen dieses Cylinders an, so wird man stets in dem Bogen einen Strom haben in der Richtung von dem Punkte des Mantels zum Punkte der Grundfläche. Schneidet man den Cylinder senkrecht auf seine Axe durch, so bleibt das Gesetz der Ströme an jedem Bruchstücke desselben unverändert, da jede der neuen Grundflächen sich wieder negativ gegen den positiven Mantel verhält. Denkt man sich den Cylinder versenkt in die Masse eines feuchten Leiters, welcher auf allen seinen Punkten eine Schicht von gleicher Höhe bildet, so wird diese Schicht, in ihrer ganzen Ausdehnung, von einem Strömungsvorgange in der Richtung vom Zink zum Kupfer eingenommen werden. Ein solches Schema erklärt nun leicht die Ströme zwischen Längs- und Querschnitt, die im Multiplikator als abgeleitete Stromzweige hervortreten, schwieriger aber die Ströme zwischen

*) A. a. O. S. 553 ff.

verschiedenen Punkten des Querschnitts und zwischen verschiedenen Punkten des Längsschnittes. Doch fand Du Bois-Reymond im Verlaufe der Untersuchung seine anfangs nur vermuthungsweise ausgesprochene Ansicht bestätigt, daß die Bindegewebshülle des Muskels sowohl als die Hüllen der Muskelbündel noch nicht das positive Kettenglied selber seien, sondern nichts als einen unwirksamen leitenden Ueberzug über das darunter gelegene vorstellen. Erst die Bekleidung des cylindrischen Schemas mit einer überall gleich dicken Schicht des feuchten Leiters stattete dasselbe mit den schwachen Strömen des Längs- und Querschnittes aus. Die Gegenwart derselben beweist das Dasein einer, die beiden ungleichartigen Kettenglieder überziehenden unwirksamen leitenden Schicht. Nun kann man sich auch weiter, nach Du Bois-Reymond, eine beliebige Anzahl der obigen Cylinder bündelförmig zusammengefaßt und sie, ohne daß sie in metallische Berührung gerathen, in eine entsprechend gestaltete Masse feuchten Leiters versenkt denken. Eine solche Anordnung wird noch immer, gleich einem jeden der sie zusammensetzenden Cylinder mit seiner feuchten Hülle, nach dem Gesetze des Muskelstromes, thätig sein. Unter der Voraussetzung nun, daß jeder künstliche Querschnitt eines Muskels sich alsbald durch Absterben mit einer Schicht eines unwirksamen feuchten Leiters überzieht, kann eine Anordnung, wie die eben erwähnte als Schema des Gesamtmuskels sowohl, als auch eines jeden einfachen Bündels betrachtet werden. Während die negative Grundfläche des einfach cylindrischen Schemas unter der Schicht feuchten Leiters eine reine zusammenhängende Kupferfläche zeigt, ist der Querschnitt des Muskels, oder seines Schemas, wegen der Hüllen der einfachen Muskelbündel oder der sie ersetzenden Cylinder, vielmehr einer Mosaik negativer Grundflächen zu vergleichen, welche in ein Maschenetz aus einem unwirksamen leitenden Stoffe gleichjam als Kitt eingelassen, und außerdem mit einer Schicht desselben Stoffes übergossen sind. — Hieran anknüpfend versucht nun Du Bois-Reymond *) eine Theorie der Ströme des Querschnittes eines zusammengesetzten Muskelbündels, die allerdings besondere Schwierigkeiten darbietet.

Unter den verschiedenen möglichen Anordnungen der ungleichartigen Gebilde im Muskelbündel erschien Du Bois die nachfolgende am entsprechendsten. Man denke sich das Innere des Muskelbündels gleichmäßig erfüllt von unzählig vielen beliebig kleinen Vorrichtungen gleich der schon erwähnten einfach cylindrischen Vorrichtung. Die Gestalt, die man diesen Elementen zuschreibt, ist gleichgiltig, und zwar um so mehr, je kleiner man sich dieselben vorstellt. Wesentlich ist nur, daß diese Gestalt auf ähnliche Weise von Strömen umflossen sei, wie die einfach cylindrische Vorrichtung, d. h. daß sie zwei negative Enden und einen mittleren positiven Ring besitze. Die elektromotorischen Elemente (oder vielmehr Moleküle) können Cylinderbruchstücke mit positivem Mantel und negativen Grundflächen sein, aber eben so gut auch als Prismen, Sphären, Sphäroide u. gestaltet gedacht werden, wofern sie nur zwei negative Polar- und eine positive Aequatorialzone besitzen, gleichviel wo sich diese abgrenzen, und wofern die die beiden Pole verbindenden Arcen nur sämmtlich einander und der Axe des Muskels parallel sind, wird die Anordnung im Sinne des Gesetzes des Muskelstromes wirksam sein. Diese im Muskel wirksamen Moleküle nennt Du Bois „elektromotorische Muskelmoleküle“, und die daran erkannte besondere Anordnung der ungleichartigen Bestand-

*) N. a. D. S. 640 ff.

theile die „peripolare Anordnung“, weil das Bezeichnende derselben der ringförmige ungleichartige Streifen am Äquator der irgendwie gestalteten Moleküle ist, wodurch der ganze Umfang desselben als positiver Pol den beiden negativen Polarzonen entgegentritt.

Diese peripolar elektromotorischen Moleküle, welche die elektrischen Ströme des Muskels bedingen, sind von einer unwirksamen (indifferenten) leitenden Substanz umgeben und nach dem Obigen dergestalt regelmäßig vertheilt, daß ihre Axe der Axe der Muskelfasern parallel ist. Inzwischen giebt es Gründe, welche dazu berechtigen, an die Stelle der peripolar elektromotorischen Moleküle Gruppen dipolar elektromotorischer Moleküle treten zu lassen, welche einem mit seinen Flächen zusammengelötheten Plattenpaare vergleichbar, einfach einen positiven und einen negativen Pol besitzen und sich, unter gewissen Umständen, in peripolarer Anordnung zusammenfügen.

Als bemerkenswerthe Eigenthümlichkeit der thierischen Erreger ist nun hervorzuheben, daß jeder derselben als im Zustande der geschlossenen Kette befindlich zu denken ist, und daß, was damit unmittelbar zusammenhängt, jeder Strom, wie er auch von einem thierischen Erreger gewonnen wird, als durch Nebenschließung erhalten, als abgeleiteter Strom betrachtet werden muß.

Weiläufig sei hier noch bemerkt, daß längere und dickere Muskeln eine größere elektromotorische Kraft darbieten als solche von geringerer Länge und Dicke, was nicht so ohne Weiteres aus der aufgestellten Theorie folgt und nach *Helmholz* *) wahrscheinlich durch dieselben Umstände bedingt ist, welche die schwächeren Ströme des Längsschnittes für sich, und des Querschnittes für sich hervorbringen.

Auch in den Nerven fand *Du Bois* eine elektrische Strömung, die im Wesentlichen dasselbe Gesetz wie der Muskelstrom befolgt. „Wird nämlich ein beliebiger Punkt des natürlichen oder künstlichen Längsschnittes eines Nerven mit einem gleichfalls beliebigen Punkte des (künstlichen) Querschnittes desselben Nerven dergestalt in Verbindung gebracht, daß dadurch keine Spannung entsteht, so zeigt eine in den unwirksam leitenden Bogen eingeschaltete stromprüfende Vorrichtung gleichwohl einen Strom an, der von dem Punkte des Längsschnittes in dem Bogen zu dem Punkte des Querschnittes gerichtet ist.“

„Wird zweitens ein dem geometrisch mittleren Querschnitte des Cylinders, den der Nerv vorstellt, näher gelegener Punkt des natürlichen Längsschnittes auf die nämliche Weise in Verbindung gebracht mit einem entfernter von jenem Querschnitte gelegenen Punkte des natürlichen Längsschnittes desselben Nerven, so zeigt die stromprüfende Vorrichtung abermals einen Strom an, der aber viel schwächer als der vorhergehende und von dem dem mittleren Querschnitte näher gelegenen Punkte, in dem Bogen, zu dem davon entfernteren gerichtet ist.“

„Die stromprüfende Vorrichtung bleibt dagegen in Ruhe, wenn die beiden durch den unwirksam leitenden Bogen verbundenen Punkte zwei (künstliche) Querschnitte eines und desselben Nerven sind, oder wenn sie auf dem natürlichen Längsschnitte gleichen Abstand vom mittleren Querschnitte haben.“

Es ist anzunehmen, daß auch der Nervenstrom von peripolar angeordneten

*) Vergl. Ueber einige Gesetze der Vertheilung elektrischer Ströme in körperlichen Leitern, mit Anwendung auf die thierisch-electrischen Versuche in *Pogg. Ann.* Bd. LXXXIX. S. 211. 353 ff.

ungleichartigen Bestandtheilen im Nerven herrührt, so daß die Nerven, gleich den Muskeln, als im Zustande der geschlossenen Kette befindlich zu betrachten sind.

Du Bois-Reymond *) hat nun ferner dargethan, daß diese Ströme, der Muskel- und Nervenstrom, bestimmte Veränderungen erleiden in dem Augenblicke, wo im Muskel die Zusammenziehung, im Nerven der Bewegung und Empfindung vermittelnde Vorgang stattfindet.

Der Muskelstrom erfährt bei der Zusammenziehung des Muskels eine negative Schwankung, so daß derselbe während heftiger und andauernder Zusammenziehungen merklich an Intensität abnimmt.

Der Zustand einer anhaltenden, heftigen Zusammenziehung eines Muskels, gleichviel ob getrennt vom Körper oder noch an demselben befindlich, und gleichviel auf welche Weise dieselbe herbeigeführt wurde, wird durch den Ausdruck „Tetanus“ bezeichnet, und Tetanisiren jedes Verfahren genannt, wodurch ein Muskel augenblicklich in diesen Zustand versetzt werden kann. Das Tetanisiren kann durch mechanische Gewaltthätigkeiten, durch Vergiftung und auf elektrischem Wege geschehen, welche letztere Methode rüchlich der thierisch-elektrischen Versuche Du Bois besonders gerechtfertigt hat *).

Während der Muskel sich im Tetanus zusammenballt, schlägt die durch den Muskelstrom bis auf einen gewissen Grad abgelenkte Nadel des auf geeignete Weise eingeschalteten Multiplikators durch den Nullpunkt hindurch, und es erfolgt ein Ausschlag desselben in den negativen Quadranten.

Der Rücksprung der Nadel beim Tetanisiren auf elektrischem Wege rührt nicht von dem Hereinbrechen des erregenden Stromes in den Multiplikatorkreis her. Die Stromabnahme im Tetanus beruht auch nicht auf einer Lagenveränderung des Muskels auf den Näschen, welche beim Versuche benutzt werden, eben so wenig auf einer Gestaltveränderung des Muskels, auch nicht auf einer Veränderung des eigenthümlichen Widerstandes der Muskeln, und endlich auch nicht auf einem die Nervenverzweigung herabkommenden Strome, — sondern vielmehr auf einer Abnahme der elektromotorischen Kraft der Muskeln.

Die Curve der elektromotorischen Kraft des Muskels, bezogen auf die Zeit, erleidet im Augenblicke der Zusammenziehung eine äußerst schnelle Schwankung im negativen Sinne, von welcher ungewiß ist, bis zu welcher Tiefe sie sich erstreckt, obgleich es, nach den vorliegenden Thatsachen zu schließen, allerdings nicht wahrscheinlich ist, daß sie unter die Abscissenaxe hinabreicht.“

Doch bleibt es immer noch möglich, daß eine augenblickliche Umkehr der Stromrichtung die Muskelzusammenziehung begleitet.

Die blitzeschnelle negative Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung läßt sich, wie Du Bois bemerkt, mit der aufgestellten Molekulartheorie dieses Stromes in Einklang bringen. Bei der Annahme peripolar-elektromotorischer Moleküle im Innern des einfachen Muskelbündels kann man sich leicht denken, wie ein solches Spiel ihrer Bestandtheile unter einander oder im Vereine mit denen eines benachbarten stattfinden möge, daß sie mit Blitzeschnelle eine Anordnung annehmen können, bei welcher ihre Gesammtheit nicht mehr nach Außen mit merklichen Kräften thätig ist, oder wobei die Richtung ihrer Wirksamkeit plötzlich die

*) Untersuchungen über thier. Electr. Bd. II.

**) A. a. O. Bd. II. S. 33.

umgekehrte wird. Und auf eine solche Theorie deutet auch die nicht selten eintretende Umkehr der Richtung des Muskelstromes während des Absterbens des Muskels hin *).

Noch sei hier bemerkt, daß die Todtenstarre die Grenze ist, welche der Dauer des Muskelstromes gesetzt ist, und daß der wegen Todtenstarre verschwundene Strom unter keinerlei Umständen wieder zurückkehrt.

Du Bois hat auch das Verhalten des Muskelstromes am lebenden ganz unverletzten Körper der Thiere und des Menschen untersucht, und die Existenz der nämlichen Veränderung desselben bei der Zusammenziehung der Muskeln dargestellt.

Ein hierher gehöriger Versuch ist bereits im Art. Elektricität hervorgehoben. Taucht man nämlich in jedes äußere Gefäß der (S. 345 ff. dieses Art.) beschriebenen Vorrichtung eine Hand oder auch nur einen Finger, so bemerkt man alsbald eine Ablenkung der Multiplicatornadel, wenn man den Finger der einen Hand stark krümmt und die Muskeln einige Momente in diesem Zustande der Contraction erhält. Krümmt man eben so einen Finger der anderen Hand, so erfolgt eine Ablenkung im entgegengesetzten Sinne. Die Wirkung des hier auftretenden Stromes erstreckt sich durch einen Draht von sehr beträchtlicher Länge, und die Magnetnadel läßt sich, wie aus dem Angeführten erhellt, nach Willkür bald hierhin, bald dorthin ablenken.

Die Nerven lassen sich in einen Zustand versetzen, der in Bezug auf seine besonderen Lebendäußerungen dasselbe vorstellt, was beim Muskel das Tetanisiren. Dieser Zustand ist für den bewegenden Nerven offenbar der, welcher Tetanus in den zugehörigen Muskeln zur Folge hat; für den Empfindungsnerven ein solcher, wo eine irgendwie beschaffene, aber möglichst lebhaft empfundene Empfindung entweder stetig oder in einzelnen Anfällen stattfindet, die sich in ununterbrochen dicht gedrängter Reihe wiederholen. Du Bois bezeichnet, der Kürze und Bequemlichkeit halber, jede Versuchsweise, wodurch ein solcher Zustand der Nerven, gleichviel, ob bewegender oder empfindender Art, hervorgerufen wird, mit dem Ausdruck „Tetanisiren.“ Die Mittel, die zur Erreichung dieses Zweckes zu Gebote stehen, kommen größtentheils mit denen überein, die die entsprechende Untersuchung für das Muskelgewebe ergeben hat. Man hat die Wahl zwischen dem elektrischen Strom, der Strychninvergiftung und den unmittelbar auf den Nerven angewandten mechanischen, thermischen und chemischen Gewaltthätigkeiten. Doch ist auch hier, nach Du Bois, ein großes Uebergewicht der Sicherheit, Bequemlichkeit, Stärke und Dauer der Reizung auf Seiten des elektrischen Stromes. Man benutzte einen stetigen Strom, und um dessen Richtung in dem Nerven abändern zu können, wurde ein Voggen-dorff'scher Inversor (s. d. Art. Inversor) oder ein Pohl'scher Stromwender in den Kreis der Kette und des Nerven eingeschaltet.

Du Bois fand nun, daß in dem Augenblicke, wo man den Kreis der Kette durch den Nerven schließt, der Strom des letzteren eine beträchtliche Veränderung seiner Größe erleidet. Und zwar ist das Gesetz, welches dieselbe zu bestimmen scheint, folgendes:

„Hat der Strom der Kette in dem Nerven gleiche Richtung mit dem Nervenstrom in dem Stück Nerv, welches in dem Multiplicatorkreis begriffen ist, so

*) Vergl. Bd. II. S. 155 ff. S. 550. 555.

findet anscheinend Vergrößerung des Nervenstromes statt; es findet anscheinend Verkleinerung desselben statt, wenn beide Ströme in dem Nerven entgegengesetzte Richtung haben.“

Du Bois schlägt vor, den Zustand der Veränderung, welche der Nerv hinsichtlich seiner elektromotorischen Kräfte durch den erregenden Strom erfährt, den elektrotonischen Zustand des Nerven zu nennen.

Die Wirkungen des elektrotonischen Zustandes rühren nicht vom erregenden Strom der Kette unmittelbar her, man hat sich vielmehr vorzustellen, daß der Nerv, sobald irgend eine Strecke seiner Länge von einem elektrischen Strome betroffen wird, abgesehen von seiner Stromentwicklung, sofort auf allen seinen Punkten anfängt elektromotorisch zu wirken in dem Sinne jenes erregenden Stromes selber *).

Die Anordnung der neuen elektromotorischen Kräfte, die im elektrotonischen Zustande wirksam sind, ist zu vergleichen derjenigen an einer unter Wasser getauchten oder überall mit einer Schicht feuchten Leiters bekleideten Säule. Man denke sich den Nerv erfüllt mit ungleichartigen Bestandtheilen, welche nach dem Bilde der Säule aufgereiht sind: die positiven Elemente nach der Seite gekehrt, wohin der Strom in der Säule fließen soll, die negativen damit in wirksamer Berührung stehenden nach jener, von welcher er zurückkehren muß.

Die Wirkung des elektrotonischen Zustandes, die meist mit einer sehr großen Geschwindigkeit hereinzubrechen scheint, ist sehr abhängig von der Leistungsfähigkeit des Nerven. Durchschneiden und Unterbindung hemmt die Fortpflanzung des Zustandes. Auch ist noch zu bemerken, daß nur die Nerven diesen Zustand zeigen, nicht auch andere feuchte Leiter von ähnlichen Maßverhältnissen und eigenenthümlichem Widerstande etc.

Die elektromotorischen Moleküle nun, deren Anordnung das Bild der Säule gewähren soll, müssen, einem mit seinen Flächen zusammengelötheten Plattenpaare vergleichbar, einen positiven und negativen Pol besitzen, sie müssen so angeordnet sein, daß ihre von Pol zu Pol gedachten Axen sämmtlich einander und der Axe der Nervenröhre parallel, und ihre gleichnamigen Pole sämmtlich nach einer und derselben Seite gekehrt seien. An so beschaffene Moleküle, die wir schon früher als „dipolar“ elektromotorische Moleküle bezeichnet haben, hat man bezüglich des elektrotonischen Zustandes der Nerven zu denken. Die Wirkung des erregenden Stromes der Kette kommt hier darauf zurück, diese Moleküle nach dem Bilde der Säule zu ordnen, säulenartig zu polarisiren.

Du Bois erinnert nun hier an die zuerst von Grotthuß ausgesprochene Theorie der Zersetzung durch den elektrischen Strom, nach welcher in der zwischen den Elektroden begriffenen Strecke des Leiters zweiter Klasse die aus einem elektropositiven und einem elektronegativen Bestandtheile zusammengesetzten kleinsten Theile desselben vor Allem eine solche gemeinsame Stellung annehmen, daß sie sämmtlich mit der ihre Pole verbindenden Axe der Richtung des Stromes und unter einander parallel angeordnet, mit ihren positiven Polen dabei dem negativen Pol der Säule, mit ihrem negativen hingegen dem positiven zugewandt seien.

Läßt man einen Strom auf den Nerven wirken, so werden die positiv elektromotorisch wirkenden, elektropositiven Bestandtheile der peripolar elektromotorischen

*) Vergl. a. a. O. Bd. II. S. 291 — 412.

Moleküle dahin streben, sich der negativen Elektrode zuzukehren, während die negativ elektromotorischen, elektronegativen Bestandtheile derselben sich der positiven Elektrode zuzuwenden suchen.

Wird nun die Zersehbarkheit der peripolar elektromotorischen Gruppen dipolarer Moleküle durch den Strom zugelassen, so läßt sich leicht einsehen, was in der vom Strome unmittelbar betroffenen Strecke des Nerven stattfinden müsse. Die Elektrolyse dieser Gruppen beginnt damit, daß sie in die dipolaren Moleküle zerfallen, und daß diese sämmtlich ihre positiven Pole der negativen, ihre negativen der positiven Elektrode zukehren. Dadurch gewinnen diese Moleküle eine Anordnung, worin sie aufhören, nach dem ursprünglichen Wirkungsgesetze der thierischen Erreger zu wirken; sie sind nun thätig nach dem Bild der Säule, und zwar in der nämlichen Richtung, in welcher der Strom verläuft, der die säulenartige Polarisation hervorrief.

Nimmt man an, daß die nämliche säulenartige Polarisation, welche zwischen den Elektroden das Werk des erregenden Stromes ist, sich beiderseits auch über die Elektroden hinauserstreckt auf die nicht unmittelbar vom Strome betroffenen Nervenstrecken, so wird jeder Punkt des Nerven, im Augenblick des Schließens der erregenden Kette elektromotorisch zu wirken scheinen, stets in dem Sinne des erregenden Stromes; derselbe wird sich negativ verhalten gegen alle in der Richtung jenes Stromes vor ihm, positiv gegen alle in demselben Bezuge hinter ihm gelegenen Punkte der Nervenlänge.

Es ist jedoch zu bemerken, daß das ursprüngliche Wirkungsgesetz der thierischen Erreger während des elektrotonischen Zustandes seine Geltung nicht verliert, sondern daß er selber und das Gesetz der Säule sich gleichsam in dem Nerven durchdringen. Auch steht die Stärke der säulenartigen Polarisation im umgekehrten Verhältniß zur Entfernung des gerade betrachteten Punktes von den Elektroden. Diese Umstände sind dahin zu deuten, daß die Polarisation eine mehr oder weniger vollkommene sein kann in dem Sinne, daß die in Bezug auf die Richtung des Stromes verkehrt liegenden dipolaren Moleküle, anstatt, — um zu der der Polarisation entsprechenden Anordnung zu gelangen, — einen vollen Halbkreis zu beschreiben, nur eine mittlere Lage einnehmen zwischen derjenigen, die ihnen vermöge der Richtkraft des Stromes zukommt, und derjenigen, die ihnen die Kräfte im Nerven selber zu ertheilen streben, welche die Ursache der peripolaren Anordnung enthalten, und augenblicklich ihre Herrschaft wieder geltend machen, sobald der Strom gewichen ist. Diese mittlere Lage würde sich um so mehr der ursprünglichen durch die peripolare Anordnung gegebenen nähern, je weiter der betrachtete Querschnitt des Nerven von der erregten Strecke entfernt ist. Auch die Lage der Moleküle, welche in Bezug auf die Richtung des Stromes die richtige Stellung haben, wird dabei eine Aenderung erleiden.

Die Fortpflanzung der säulenartigen Polarisation über die unmittelbar vom Strome betroffene Strecke hinaus mit abnehmender Stärke läßt sich, wie Du Bois bemerkt, allenfalls vergleichen mit einem Verhalten am Elektromagneten. Schiebt man nämlich auf einen weichen Eisenstab eine vergleichungsweise kurze stromführende Rolle, so erscheint der Stab seiner ganzen Länge nach polarisirt, jedoch bei zunehmender Entfernung von der Rolle mit abnehmender Stärke, gerade wie es bei dem Nerven festgestellt ist. •

Uebrigens darf man den elektrotonischen Zustand nicht verwechseln mit dem

Bewegung und Empfindung vermittelnden Vorgänge im Nerven. Dagegen läßt sich dieser Zustand, nach Du Bois, in Beziehung setzen mit den bekannten elektrischen Reizversuchen, nämlich mit den Schließungs- und Öffnungszuckungen, welche beim Schließen und Öffnen einer Kette in dem in den Kreis der letzteren eingeschalteten thierischen Organismus bemerkt werden *).

„Wir haben in dem elektrotönenischen Zustande, sagt Du Bois, jene dauernde Veränderung der Nerven durch den elektrischen Strom erkannt, deren Dasein zu unthunlichen Mitter, Erman und Nobili allein vergönnt war. Wenn ein Strom auf einen Nerven wirkt, ergeht es letzterem gleich jedem anderen feuchten Leiter. Es wird Elektrolyse eingeleitet, welche mit säulenartiger Polarisation beginnt. Der Uebergang der natürlichen zur dipolaren Anordnung der elektromotorischen Moleküle bedingt jene Gleichgewichtsstörung, die als Schließungszuckung, Schließungsschmerz sich geltend macht. Die Rückkehr von der dipolaren zur natürlichen Anordnung ist es, wodurch sich der Organismus, um mit Ritter zu reden, den Öffnungsschlag selber ertheilt. Galvanische Reizung ist uns nichts mehr als die erste Stufe der Elektrolyse eines Nerven.“

Sodann weist Du Bois noch auf die vielen Analogien zwischen den Vorgängen der elektrischen Induction und der Nervenregung durch den Strom hin.

Beiläufig hier noch die Bemerkung, daß auch die veripolar elektromotorischen Muskelmoleküle unter dem Einfluß von elektrischen Stromesthätigkeiten einer Zersäuerung in dipolare nach dem Bilde der Säule angeordnete Glieder fähig sind; nur erstreckt sich diese Zersäuerung hier nicht über die unmittelbar betroffene Strecke hinaus, verharrt dafür aber in der Zeit hinlänglich lange, um noch nach Entfernung des Muskels aus dem Kreise der erregenden Kette fühlbar gemacht werden zu können **).

Wie der Muskelstrom beim Zusammenschieben des Muskels, so erfährt auch der ursprüngliche Nervenstrom beim Bewegung und Empfindung vermittelnden Vorgänge im Nerven eine negative Schwankung. Du Bois hat die Art und Weise angegeben, wie diese negative Schwankung des Nervenstromes beim Bewegung und Empfindung vermittelnden Vorgänge, der auf elektrischem Wege angeregt wird, zu trennen ist von den Wirkungen der säulenartigen Polarisation, auf welcher der sogenannte elektrotönenische Zustand des Nerven beruht ***).

Der bezeichnete Vorgang oder das sogen. Tetanisiren der Nerven (f. S. 352) läßt sich durch abwechselnde elektrische Ströme herbeiführen.

„Der Erfolg des Tetanisirens der Nerven mit abwechselnden Strömen bei aufliegendem Längs- und Querschnitt ist eine größere oder geringere rückgängige Bewegung der Nadel nach dem Nullpunkte hin, unter günstigen Umständen bis in den negativen Quadranten und über ihre ursprüngliche Gleichgewichtsstellung in den positiven Viertelskreise hinaus.“

Läßt man den Nerven ausruhen, so erscheint nach einiger Zeit die Wirkung wieder, fast in ihrer anfänglichen Stärke. Man kann sie viele Mal hintereinander an einem und demselben Nervenstücke beobachten, mit abnehmender Stärke bis zur

*) M. a. D. Bd. II. S. 383 ff.

**) M. a. D. Bd. II. S. 329 ff.

***) M. a. D. Bd. II. S. 412 ff.

völligen Erschöpfung des thierischen Erregers. Dann ist nur noch ein schwacher Ueberrest vom ursprünglichen Strome vorhanden.

Der Rückschwingung der Nadel beim Tetanisiren der Nerven mit abwechselnden Strömen rührt nun 1) nicht vom Hereinbrechen des erregenden Stromes in den Multiplicatorkreis her, 2) nicht unmittelbar vom elektrotonischen Zustande des Nerven, 3) nicht von dem Freiwerden von Ladungen durch den abwechselnd positiven und negativen Zuwachs im elektrotonischen Zustande, und 4) auch nicht von einer Zunahme des eigenthümlichen Leitungswiderstandes der Nervensubstanz, — sondern von einer Abnahme der Summe der nach Außen gerichteten elektromotorischen Kräfte der Nerven.

Bermittelt das physiologische Rheoskop, d. h. eines Stromprüfenden präparirten Froschschenkels wurde übrigens noch insbesondere dargethan, daß der Eintritt und das Aufhören des elektrotonischen Zustandes an und für sich, unabhängig von der negativen Schwankung, im Stande sind, in dem betreffenden Rheoskope eine secundäre Zuckung zu erzeugen.

Die negative Schwankung des Nervenstromes beim Tetanisiren auf elektrischem und nicht elektrischem Wege erklärt Du Bois für gleichbedeutend, und zwar für den elektromotorischen Ausdruck des Bewegung vermittelnden Vorganges, der in dem Nerven stattfindet, jedesmal, sobald auf mechanischem, kaustischem, chemischem Wege sein inneres Gleichgewicht gestört wird, oder jedesmal, wenn der Nerv durch einen erregenden Strom in den elektrotonischen Zustand versetzt wird, oder endlich, wenn dieser Zustand eine Schwankung in beliebigem Sinne erleidet in Folge einer gleichförmigen Schwankung des erregenden Stromes, dessen Dichtigkeit die Stärke des elektrotonischen Zustandes innerhalb weiter Grenzen einfach proportional ist.

Das Gesagte gilt auch im Wesentlichen für den Empfindung vermittelnden Vorgang. Doch vermögen die Empfindungsnerven nicht bloß die augenblickliche, sondern auch die dauernde Veränderung ihrer Zustände zum Bewußtsein zu bringen. Während man dem elektrotonischen Zustande, so lange die Stärke des erregenden Stromes und mit ihr die der säulenartigen Polarisation auf gleicher Höhe verweilt, keinen Bezug mehr auf die Zuckung zugestehen kann, wird derselbe von den Empfindungsnerven während seiner ganzen Dauer dem Bewußtsein angezeigt. Du Bois schließt, daß zwar Zustände der Nerven, welche bei Bewegungsnerven Zuckungen im Gefolge haben, an Empfindungsnerven schmerzhaft sein werden, daß aber nicht umgekehrt schmerzhaft empfundene Zustände der Empfindungsnerven an Bewegungsnerven nothwendig Zuckungen nach sich ziehen würden *).

Bezüglich des Weiteren und Specielleren müssen wir hier auf das citirte Werk von Du Bois verweisen. Wir bemerken nur noch, daß die vom letzteren aufgestellte theoretische Ansicht auch die Erklärung der an den elektrischen Fischen beobachteten Erscheinungen in sich schließt.

Thierkreis oder Zodiacus ist eine der Ekliptik parallele Zone des Himmels, welche sich auf beiden Seiten der Ekliptik bis zu $23^{\circ} 28'$ von derselben entfernt, also eine Breite von $46^{\circ} 56'$ hat. In der Mitte dieser Zone, in der Ekliptik, vollendet die Sonne ihren scheinbaren jährlichen Lauf, und innerhalb der Zone halten sich, von der Erde aus gesehen, die älteren Planeten stets auf.

*) Vergl. a. a. O. Bd. II. S. 558. 568.

Wegen dieses Verhaltens zu dem Planetenlaufe erhielt diese Zone eine besondere Wichtigkeit, und da die in derselben liegenden Sternbilder vorzugsweise Thiergestalten repräsentiren, so erhielt dieselbe den Namen des Thierkreises. Durch die Entdeckung der Planetoiden, deren Zahl im April 1858 bereits auf 53 gestiegen ist, hat der Thierkreis seine Bedeutung für die Planetenbahnen eingebüßt, denn mehrere der Bahnen dieser zwischen Mars und Jupiter kreisenden Körper unseres Sonnensystems bilden einen so großen Neigungswinkel mit der Ekliptik, daß sie den Gürtel des Thierkreises weit übersteigen.

Die Namen der in der Mitte des Thierkreises, also ziemlich in der Ekliptik, liegenden 12 Sternbilder sind in der Ordnung, wie sie vom Widder aus gegen Osten liegen, folgende:

Widder γ , Stier τ , Zwillinge μ , Krebs \c , Löwe λ , Jungfrau ν , Waage ζ , Scorpion μ , Schütze ι , Steinbock δ , Wassermann \approx , Fische π .

Man hat die lateinischen Namen dieser Sternbilder in 2 Verse zusammengestellt, um sie dem Gedächtnisse leichter einprägen zu können:

Sunt: Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo
Libraque, Scorpius, Arcitenens, Caper, Amphora, Pisces.

Besser sind folgende lateinische Verse des Manilius:

Aurato princeps *Aries* in vellere fulgens
Respicit admirans aversum surgere *Taurum*,
Summisso vultu *Geminos* et fronte vocantem.
Quos sequitur *Cancer*, Cancrum *Leo*, *Virgo* Leonem.
Aequato tum *Libra* die cum tempore noctis
Attrahit ardenti fulgentem *Scorpion* astro;
In cujus caudam contentum dirigit arcum
Mixtus equo, volucrum missurus jamque sagittam.
Tum venit angusto *Capricornus* sidere flexus.
Post hunc inflexam diffundit *Aquarius* urnam
Piscibus assuetas avidae subeuntibus undas,
Quos Aries tangit claudentes ultima signa *).

Die den Namen beigefügten Zeichen geben die Bezeichnung dieser Sternbilder, welche in den astronomischen Büchern und in den Kalendern gebräuchlich sind. Das Zeichen des Widders deutet jedenfalls auf die Hörner dieses Thieres, das des Stiers auf den Kopf desselben, das des Krebses auf dessen Scheren, das des Löwen auf dessen Schweif, das der Waage auf den Wagebalken, das Anhängsel an dem des Scorpion auf dessen Stachel, das des Schützen auf einen Pfeil, das des Wassermannes auf Wellen; das der Zwillinge soll etwas Paariges vorstellen;

*) Deutsch wie folgt:

Glänzend im goldenen Blies erscheint als erster der Widder,
Blicket erschauet dahin, wo gewendet der Stier sich erhebet,
Der mit gesenktem Blicke und Stiern nach den Zwillingen brüllet.
Auf sie folgt der Krebs, dem Krebse der Löw' und die Jungfrau.
Drauf theilt gleichend den Tag und die Nacht die Waage die Zeit aus,
Locket dem Scorpion, der erglänzt vom Gestirne der Gluten.
Ihm schon zielt nach dem Schwanz mit dem scharfgespanneten Bogen,
Um den beflügelten Pfeil zu entsenden, der Schütze, ein Rossmann.
Drauf kommt beugend sich hin auf das enge Sternbild der Steinbock.
Nach ihm schüttet der Wassermann aus die gebogene Urne
Und es tauchen begierig in heimische Wellen die Fische,
Welche der Widder berührt, die schließenden, letzten der Zeichen.

auch das Zeichen der Fische ist wohl an sich klar; über das Zeichen des Steinbocks sind die Ansichten jedoch verschieden, indem dasselbe nach Einigen aus den beiden Buchstaben $\tau\rho$, mit welchen das Wort $\tau\rho\acute{\upsilon}\gamma\omicron\varsigma$ (Bock) beginnt, entstanden sein, nach Anderen dadurch der aufwärts gekrümmte Schweif des Steinbocks angedeutet werden soll.

In Folge des Vorrückens der Nachtgleichen (s. Art. *Nachtgleichen*) bleibt das Sternbild, welches jetzt im Aequator liegt, nicht immer in demselben, und so kommt es, daß jetzt die Fische die Stelle im Frühlingsäquinodium einnehmen, an welcher zu Hipparch's Zeiten der Widder stand. Das Vorrücken beträgt jährlich etwa 50'' in der Richtung von Osten nach Westen.

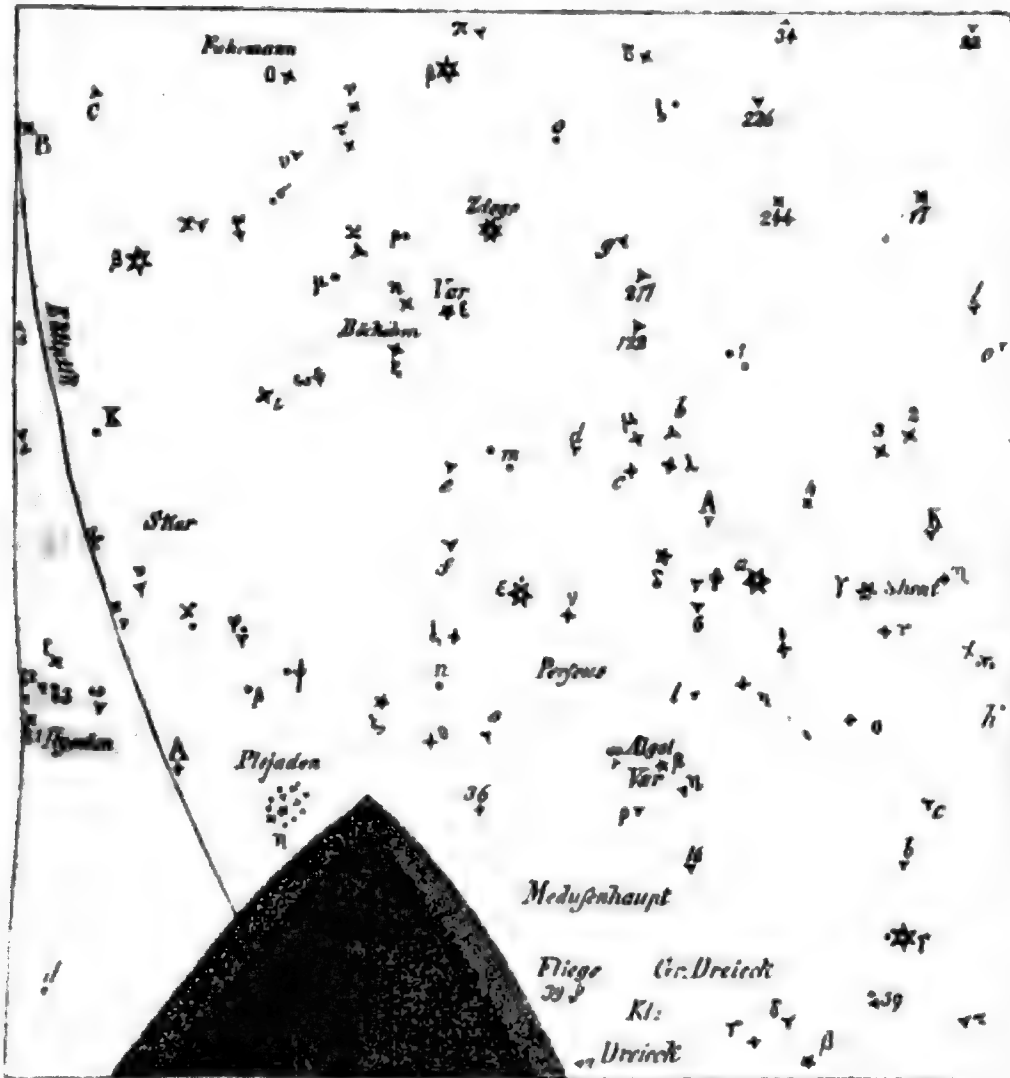
Ungeachtet dieser Verschiebung der Bilder des Thierkreises in Beziehung zum Frühlingsäquinodium nennt man doch noch den Frühlingspunkt, d. h. die Stelle im Aequator, an welcher beim Eintritt des Frühlings die Sonne steht, den *Widderpunkt*. Dies führt uns zu der eigenthümlichen Einteilung des Thierkreises in Zeichen, die keineswegs mit den Sternbildern zusammentreffen.

Die zwölf Sternbilder des Thierkreises sind nicht von gleicher Ausdehnung, auch stoßen die auf einander folgenden nicht immer an einander, sondern es bleiben noch Sterne übrig, die man meist zu noch anderen Sternbildern benutzt hat — so finden wir zwischen der Jungfrau und Wage den Einsiedler, zwischen Scorpion und Schützen gerade auf der Ekliptik den Ophiuchus u. s. f. (s. die dem Art. *Milchstraße* beigelegten Sternkarten). — Da hiernach durch die Angabe des Sternbildes, in welchem sich die Sonne z. B. befand, der Ort nicht mit ausreichender Genauigkeit bestimmt war, so theilte man die Ekliptik in 12 gleiche Theile, deren jeder 30 Grad enthält, und nannte jede Abtheilung — ohne Rücksicht auf die Uebereinstimmung oder Nichtübereinstimmung mit den Sternbildern des Thierkreises — ein *Zeichen*. Zu Hipparch's Zeiten stand die Sonne beim Eintritt des Frühlings oder zur Zeit der Frühlingsgleiche im Sternbilde des Widders, wie bereits bemerkt worden ist; somit nannte man die 30 Grad umfassende Abtheilung, welche dies Sternbild enthält, das *Zeichen des Widders*, zählte dasselbe als das erste und von da ostwärts gehend das Zeichen des Stiers als das zweite α . Da man noch jetzt das Zeichen, in welchem die Sonne zur Zeit der Frühlingsnachtgleiche steht, das Zeichen des Widders nennt, so folgt daraus, daß die Zeichen und die Sternbilder nicht mehr, wie zu Hipparch's Zeiten, zusammenfallen. Jetzt liegt das Sternbild der Fische im Zeichen des Widders.

Es liegt nahe, daß wegen des Nichtzusammenfallens der gleichnamigen Zeichen und Sternbilder leicht Verwechslungen herbeigeführt werden können. Deshalb macht man in der eigentlichen Astronomie von dieser Bestimmungsweise des Sternortes gar nicht mehr Gebrauch (s. Art. *Abweichung*, *astronomische*, Bd. I. S. 46; *Aufsteigung*, Bd. I. S. 569; *Breite und Länge eines Gestirns*, Bd. I. S. 904), sondern bedient sich dieser Einteilung nur noch in den Kalendern und Jahrbüchern. H. G.

Thierkreislicht, *Zodiacallicht* (v. d. griech. $\zeta\omega\delta\iota\alpha\kappa\omicron\varsigma$, Thierkreis) ist eine weißliche, noch matter als die Milchstraße leuchtende Lichterscheinung, die in kegelförmiger Zuspitzung, von der Sonne als Basis ausgehend und mit der Axe in die Richtung des Thierkreises fallend, kurz nach Sonnenuntergang oder kurz vor Sonnenaufgang in unseren Gegenden besonders zu Anfang des Frühlings und am Ende des Herbstes sich zeigt.

Um der Vorstellung gleich von vornherein einen festeren Halt zu gewähren, schalten wir hier die Zeichnung ein, welche Arago *) von dem Aussehen des Thierkreislichtes zu Paris am 29. März 1843, 8 Uhr Abends geliefert hat. Der mit s bezeichnete Punkt in der Ekliptik ist der Punkt, wo die Sonne untergegangen war.



Im Alterthume scheint man auf die in Rede stehende Erscheinung nicht aufmerksam gewesen zu sein. Die erste ganz deutliche Beschreibung ist in Childey's (Caplan des Lord Henri Somerset) Britannia Baconica vom Jahre 1661 enthalten, und derselben liegen mehrere bereits etliche Jahre vorher im Februar und März gemachte Beobachtungen zu Grunde **); indessen scheint auch Tycho schon am Ende des 16. Jahrhunderts die Erscheinung als etwas Besonderes erkannt zu haben, wie A. v. Humboldt nach einer Bemerkung von Olbers anführt. Die räumlichen Verhältnisse des Phänomens bestimmte und ergründete

*) Arago's populäre Astronomie. Deutsch von Hankel, Leipzig 1856. Bd. II. (Arago's sämtliche Werke. Bd. XII.) S. 179.

**) v. Humboldt's Kosmos. Bd. I. 144 und Anmerk. S. 409, desgl. Bd. III. S. 388.

zuerst (1683) Dominicus Cassini *). Zu den ersten Beobachtern gehört Gatio de Duillies (1680); später haben sich Gimmart (1693), Derham (1706), Mairan (1730), Diquemart (1769) näher mit der Erscheinung beschäftigt. Besonders wichtig sind die Beobachtungen A. v. Humboldt's in den Tropengegenden (1799 bis 1805); auch Horner ließ das Phänomen auf der Seeexpedition Krusenstern's (1803 bis 1806) nicht außer Acht. Der Diaconus Schön (1766 bis 1786) war ein fleißiger Beobachter; Schröter und Olbers interessirten sich für den Gegenstand; ferner sind zu nennen Westphal (1827), Herrick (1840), Houzeau (1842), Bravais (1842), Julius Schmidt (seit 1843), eben so jetzt noch Heis und Brorson **).

A. v. Humboldt (Kosmos Bd. I. S. 142) sagt: „Wer Jahre lang in der Palmzone gelebt hat, dem bleibt eine liebliche Erinnerung von dem milden Glanze, mit dem das Thierkreislicht, pyramidal aufsteigend, einen Theil der immer gleich langen Tropennächte erleuchtet. Ich habe es, und zwar nicht bloß in der dünnen und trocknen Atmosphäre der Andes-Gipfel auf 12 oder 14 Tausend Fuß Höhe, sondern auch in den grenzenlosen Grasfluren (Llanos) von Venezuela, wie am Meeresufer, unter dem ewig heiteren Himmel von Cumana, bisweilen intensiver leuchtender als die Milchstraße im Schützen, oder zwischen dem Adler und Schwan (Bd. III. S. 589) gesehen. Von einer ganz besonderen Schönheit war die Erscheinung, wenn kleines duftiges Gewölk sich auf dem Zodiacallichte projecirte und sich malerisch abhob von dem erleuchteten Hintergrunde.“ Aus seinem Tagebuche auf der Schifffahrt von Lima nach der westlichen Küste von Mexico theilt derselbe Folgendes mit: „Vom 14. bis 19. März war sehr regelmäßig $\frac{3}{4}$ Stunden, nachdem die Sonnenscheibe sich in das Meer getaucht hatte, keine Spur vom Thierkreislichte zu sehen, obgleich es völlig finster war. Eine Stunde nach Sonnenuntergang wurde es auf einmal sichtbar, in großer Pracht zwischen Aldebaran und den Plejaden am 18. März 39° 5' Höhe erreichend. Schmale langgedehnte Wolken erscheinen zerstreut in lieblichem Blau, tief am Horizonte, wie vor einem gelben Teppich. Die oberen spielen von Zeit zu Zeit in bunten Farben. Man glaubt, es sei ein zweiter Untergang der Sonne. Gegen diese Seite des Himmelsgewölbes hin scheint uns dann die Helligkeit der Nacht zuzunehmen, fast wie im ersten Viertel des Mondes. Gegen 10 Uhr war das Zodiacallicht hier in der Südsee gewöhnlich schon sehr schwach, um Mitternacht sah ich nur eine Spur desselben. Wenn es den 16. März am stärksten leuchtete, so ward gegen Osten ein Gegenchein von mildem Lichte sichtbar.“ Hierzu fügt er noch: „In unserer trüben, sogenannten gemäßigten, nördlichen Zone ist das Thierkreislicht freilich nur im Anfang des Frühlings nach der Abenddämmerung über dem westlichen, am Ende des Herbstes vor der Morgendämmerung über dem östlichen Horizonte deutlich sichtbar.“

*) Cassini, Découverte de la lumière céleste qui parvit dans le zodiaque in den Mém. de l'Acad. T. VIII. 1730. p. 276; vergl. v. Humboldt's Kosmos a. a. D.

**) Von J. F. Julius Schmidt ist eine Monographie erschienen: Das Zodiacallicht, Braunschweig 1856. Dieselbe enthält die näheren Nachweise und zwar werden daselbst genannt: Berliner Jahrbücher 1789. S. 228; 1801. S. 139; 1806. S. 110; 1808. S. 241; 1811. S. 197; 1823. S. 156; 1825. S. 189; 1826. S. 11; 1827. S. 135; ferner Vode's Jahrbuch 1827; Astronom. Nachrichten Nr. 492; namentlich Schumacher's Jahrb. 1844. S. 148; endlich Jahn's wöchentliche Unterhaltungen.

Dieser vortrefflichen Schilderung fügen wir nach J. Schmidt's Beobachtungen noch Folgendes hinzu: Zeigt sich das Zodiacallicht im Winter bis Mai am Abendhimmel, so sieht man es in schmaler, nach links geneigter Pyramidenform aufsteigen, mit verwaschenen Säumen, die sich in der Nähe des Horizontes stärker nach Außen zu krümmen scheinen. Die Helligkeit wächst gegen den Horizont hin bis zu jener Stelle, wo die dichten Schichten der Luft durch ihre Trübung den Glanz des Schimmers wieder vermindern. Der südliche (linke) Rand ist meist am schärfsten begrenzt. Die Farbe, wechselnd zwischen weißgrau, weißgelblich und selbst röthlich, scheint eben so wie die mehrfach beobachtete veränderliche Intensität mehr durch Zustände unserer Atmosphäre, als durch kosmische Vorgänge bedingt zu sein.

In dem hoch über dem Horizonte liegenden Theile des Lichtkegels fand J. Schmidt die Helligkeit der Sterne ungeschwächt, und erkannte derselbe die Sterne der 6. Größe ohne Mühe; aber tiefer im hellen Glanze, der Basis des Zodiacallichtes näher, wurde es schwieriger, die kleinen Sterne zu sehen. Ist der Mond 2 bis 3 Tage alt, so ist das Zodiacallicht noch recht gut sichtbar; ist er 4 Tage alt, so nicht mehr, und erst nach Vollmond kann man dasselbe wieder beobachten. In der Tropenzone bemerkt man das Phänomen das ganze Jahr hindurch.

Außer dem Haupttheile des Zodiacallichtes, welches, nahe in der Ebene der Ekliptik liegend, sich scheinbar östlich und westlich von der Sonne in langgestreckter Dreiecksform ausbreitet, hat man auch eine Art Gegenschein bemerkt, der, wenn man ihn z. B. Abends in Osten erblickt, gewissermaßen eine Spiegelung des in Westen aufsteigenden Scheines bildet. Die Beobachtungen von v. Humboldt, George Jones und Brorsen stellen diese Thatsache außer Zweifel *). Ob man es hier wirklich nur mit einer Reflexion, ähnlich der Gegendämmerung zu thun habe, oder ob nicht vielmehr zu gewissen Zeiten das Zodiacallicht auch in Opposition mit der Sonne gesehen werden könne, ist noch fraglich.

Da das Zodiacallicht jedenfalls etwas zur Sonne Gehöriges ist, so hat man auch die Meinung ausgesprochen, daß man dasselbe vielleicht während einer totalen Sonnenfinsterniß beobachten könne. Namentlich vermuthete man, daß sich dann die dichteren, der Sonne benachbarten Theile bemerklich machen würden. Die Erfahrung ist dieser Ansicht nicht günstig. Man hat nichts beobachtet, was auf das Zodiacallicht bezogen werden könnte, und dies war eigentlich auch zu erwarten, da es, um das Phänomen zu sehen, bereits oder noch so dunkel sein muß, daß man die Sterne der 5. und 6. Größe erkennt. So dunkel wird es indessen bei der totalen Finsterniß nicht; es müßte denn der allerdings mögliche Fall eintreten, daß die gänzliche Verdunkelung bis 7 Minuten dauerte.

Die Erklärung des Thierkreislichtes betreffend haben wir zuerst Dominicus Cassini (1683) zu erwähnen. Derselbe soll schon, wie später Laplace, Schubert und Poisson, die Hypothese eines abgesonderten Ringes angenommen haben **) und zwar so, daß der dunstförmige Ring aus einer Unzahl

*) v. Humboldt in astron. Nachr. Nr. 989; G. Jones in astronomical Journ. No. 84, 26. Mai 1833; Brorsen in Jahn's wöchentl. Unterhaltungen 1834. Nr. 16. S. 123; Nr. 17. S. 132; Nr. 20. S. 136; Nr. 23. S. 198.

**) v. Humboldt's Kosmos. Bd. I. S. 412. Anmerk. 66.

kleiner planetenartiger Körper, die um die Sonne kreisen, zusammengesetzt sei. Nach Argelande *) jedoch war Cassini's Ansicht die, daß die Sonne von einer im Sinne der Umdrehungsaxe derselben stark abgeplatteten, in der Ebene des Aequators weit ausgedehnten Atmosphäre umgeben sei, welche durch den Reflex der Sonnenstrahlen, wie unsere Atmosphäre die Dämmerung, so jenen linsenförmigen Schein erzeuge. Die verschiedene Breite erklärte sich dann aus den verschiedenen Oeffnungen der Ellipse, in welcher sich der Sonnenäquator am Himmelsraume projectirt; die verschiedene Länge aus der großen Beweglichkeit der Materie, die unter gewöhnlichen Umständen bis weit über die Erdbahn hinaus sich ausdehne. Besonders wurde er auf diese Erklärung auch durch den Umstand geführt, daß die Mittellinie des Scheines nicht immer gerade der Ekliptik folgte, sondern einen bald kleineren, bald größeren Winkel mit derselben zu machen, und nahezu mit der großen Ase der Ellipse zusammenzufallen schien, unter welcher der Sonnenäquator sich uns jedesmal darstellt. Nach Arago **) nahm Cassini an, daß die Sonne in der Ebene ihres Aequators eine etwas grobe Materie, welche das Licht zurückzuwerfen vermöge, bis über die Venusbahn hinaus schleudern könne. Ueber die Ringform des Zodiacallichtes scheint Cassini keineswegs völlig im Klaren gewesen zu sein. Marian stimmte Cassini bei und brachte das Nordlicht mit demselben in Beziehung. Laplace machte zuerst darauf aufmerksam, daß das Zodiacallicht, als eine rotirende Atmosphäre der Sonne gedacht, keineswegs die überaus starke Abplattung zeigen könne, welche die Gestalt jenes Lichtes anzudeuten scheint, und daß schon in der Entfernung von $\frac{9}{20}$ der Distanz des Mercur die Centrifugalkraft der rotirenden Theile des Zodiacallichtes die Gravitation der Sonne überwindet ***). In Folge dieser Bemerkungen gestaltete man Cassini's Hypothese dahin um, daß man sich den Raum, welchen das Zodiacallicht einnimmt, mit unendlich vielen äußerst kleinen körperlichen Theilchen erfüllt dachte, die — das Sonnenlicht reflectirend — in ihrer Gesamtheit die scheinbare Gestalt des Schimmers in der Ekliptik repräsentiren. — Mit der Sonnenatmosphäre bringt noch Euler ****) das Zodiacallicht in Beziehung. Von manchen Seiten *****) hat man die Ansicht ausgesprochen, daß das Zodiacallicht die Wirkung der Brechung des Sonnenlichtes in der Erdatmosphäre sei. Arago (a. a. O. S. 176) fragt dabei jedoch mit Recht, warum sich denn das Licht in schiefer Richtung gegen den Horizont erhebe, und warum es stets in der Ebene des Sonnenäquators gelegen scheine. Nach Laplace besteht die Materie des Zodiacallichtes aus den feinsten Theilchen der ursprünglichen Nebelmasse, aus welcher durch Verdichtung unsere Sonne und die zu ihrem Systeme gehörigen Planeten entstanden sein sollen. J. Schmidt spricht sich dahin aus, daß die Nebelmaterie, welche das Thierkreislicht bildet, wenigstens theilweise mit jener Materie für identisch zu halten sei, welche als widerstehendes Medium den Lauf eines Kometen zu beschleunigen im Stande ist.

Die physische Ursache des Thierkreislichtes ist noch in Dunkel gehüllt; daß

*) Schumacher's Jahrbb. 1844.

**) Popul. Astronomie. Bd. II. S. 174.

***) Vergl. Art. Atmosphäre, Bd. I. S. 360. Atmosphäre der Sonne.

****) Abhandlungen der Berliner Akademie. Bd. II. 1748.

*****) Young, Lect. T. I. p. 302; Arago, a. a. O. S. 176.

dasselbe aus einem dunstartigen, abgeplatteten, frei im Weltraume zwischen der Venus- und Marsbahn freisenden Ringe ausstrahle, ist nach dem gegenwärtigen allerdings noch sehr mangelhaften Zustande der Beobachtung die befriedigendste Ansicht *). Souzeau macht es sogar wahrscheinlich, daß die große Axe des Zodiacallichtringes eben so wenig mit der Ebene des Sonnenäquators zusammenfällt, wie man bisher glaubte, als die Dunstmasse desselben die Erdbahn überschreitet **). Die bisweilen veränderliche Lichtstärke, eine Art von Zucken und Glimmern, deutet vielleicht auf Prozesse in dem Dunstringe selbst, wahrscheinlicher aber auf Verdichtungen in den obersten Schichten unserer Atmosphäre, ähnlich den Erzitterungen in den Kometenschweifen oder den von dem Kopfe des Kometen ausgehenden Strahlenschüssen ***). Arago untersuchte das Thierkreislicht auf Polarisation, doch gelang es ihm nie eine Spur einer solchen nachzuweisen.

H. G.

Thorium, ein Metall, zu den in der Natur sehr selten vorkommenden Elementen gehörend. Chemisches Zeichen: Th. Äquivalent: 743,86 ($O = 100$) oder 59,604 ($H = 1$).

Man findet das Thorium nur in Verbindung mit Sauerstoff und zwar nur in sehr wenig Mineralien, die überdies noch selten sind. Bereits 1815 glaubte Berzelius in verschiedenen schwedischen Mineralien eine eigenthümliche Erde, die er Thorerde nannte, gefunden zu haben. 1824 aber erkannte er diese Erde als basisch phosphorsaure Yttererde. 1828 fand er in einem, seitdem Thorit benannten Mineral, das im Syenit auf der Insel Lövön in der Nähe von Previg in Norwegen vorkommt, eine eigenthümliche Erde, die er wiederum mit dem Namen Thorerde belegte, da sie mehrere Eigenschaften der früher so benannten Substanz besaß. Später fand Wöhler in dem Pyrochlor, der in Sibirien vorkommt, 5,0 Proc. Thorerde und Kersten in dem Monazit, der im Granit mit Zirkon in der sogen. Ischeremitschanka bei Miassk vorkommt, 17,95 Proc. Thorerde. Hermann suchte jedoch die Thorerde in diesem letzteren Mineral vergebens.

Das Thorium, nach dem nordischen Gotte Thor benannt, wird durch Zersetzung des Thoriumchlorides vermittelst Kalium dargestellt. Es zeigt große Aehnlichkeit mit dem Aluminium, d. h. mit dem von Wöhler zuerst dargestellten pulverförmigen. Es ist ein schweres Pulver von dunkelbleigrauer Farbe, das unter dem Polirstahl einen metallischen Glanz annimmt. Beim Erhitzen entzündet es sich und verbrennt, ähnlich wie der Phosphor, mit einem ganz ungewöhnlichen Glanze zu schneeweißer Thorerde, die nicht die geringste Spur einer Schmelzung oder eines festen Zusammenhanges zeigt. Sonst wird es an der Luft, in Wasser oder durch Alkalien nicht oxydirt. Die Salpetersäure wirkt nur sehr wenig darauf ein; Schwefelsäure und Fluorwasserstoffsäure lösen es zwar sehr langsam, aber doch endlich vollständig auf. Das eigentliche Lösungsmittel ist die Chlornwasserstoffsäure.

Mit dem Sauerstoff geht das Thorium nur eine Verbindung ein: das Thoriumoxyd oder die Thorerde (ThO). Diese gewinnt man vornämlich aus dem Thorit ($3 ThO \cdot SiO_3 + 3 HO$), der circa 58 Proc. davon enthält und außer-

*) v. Humboldt's Kosmos. Bd. III. S. 888.

**) Schumacher's astron. Nachr. Nr. 492.

***) Bergl. Art. Kometen, Bd. IV. S. 326.

dem Kieselsäure, Kalkerde, Eisenoryd, Manganoryd, Zinkerde, Uranoryd, Bleioryd, Zinnoryd, Kali, Natron und Thonerde. Das fein gepulverte Mineral wird zu dem Ende durch Chlornasserstoffsäure aufgeschlossen, dann zur Trodne abgedampft und die Masse zur Lösung gebracht. Zinn und Blei werden durch Schwefelwasserstoff entfernt und die abfiltrirte Flüssigkeit mit Ammoniak versetzt. Der Niederschlag wird in Schwefelsäure gelöst und die Auflösung durch Abdampfen stark concentrirt. Dadurch scheidet sich die schwefelsaure Thorerde ab, die durch Glühen zerlegt wird.

Die Thorerde erscheint als ein weißes, vor dem Löthrohr nicht schmelzendes Pulver. Sie besitzt unter den Erden das höchste spec. Gew. = 9,402. Nach dem Glühen ist sie nur in concentrirter Schwefelsäure löslich. Nach Berlin gilt dies indessen nur für diejenige Thorerde, die durch Glühen aus dem Hydrat erhalten worden ist. Zerlegt man das oxalsäure Salz durch Hitze, so löst sich die hierbei zurückbleibende Thorerde langsam in Salzsäure. — Das Thorerdehydrat ($\text{ThO} \cdot \text{HO}$) wird aus einer Thorerdelösung durch Ammoniak oder Kalihydrat als weiße gelatinöse Masse gefällt, die Kohlensäure aus der Luft anzieht. Das Hydrat löst sich frisch gefällt sehr leicht in Säuren auf, nach dem Trodnen, wo es harte, glässige Klumpen bildet, jedoch schwerer. Durch die reinen Alkalien wird es nicht gelöst, wohl aber durch die kohlensauren.

Die Thorerde bildet zwar mit den Säuren farblose Salze, die einen zusammenziehenden Geschmack besitzen; doch ist die Verwandtschaft zu den Säuren nicht groß, da die Salze durch Glühen leicht zerlegt werden. — Die schwefelsaure Thorerde ($\text{ThO} \cdot \text{SO}^3 + 5 \text{HO}$) bildet beim langsamen Verdunsten rhomboëdrische Krystalle. Dieses und andere Salze der Thorerde besitzen die bemerkenswerthe Eigenschaft, daß sie im kalten Wasser viel leichter löslich sind als in heißem. Durch Kochen werden sie vollständig gefällt; beim Erkalten löst sich indessen der Niederschlag wieder auf. Sobald aber Basen zugegen sind, mit denen die Thorerde Doppelsalze bildet, so tritt die Fällung beim Kochen nicht ein. — Gegen Schwefel und Phosphor verhält sich das Thorium dem Aluminium analog. Die Verbindung erfolgt unter Feuererscheinung. Schwefelthorium wird nur von Königswasser aufgelöst. Beim Erhitzen an der Luft geht der Schwefel sehr leicht fort und Thorerde bleibt zurück. — Das Thoriumchlorid (Th Cl) wird erhalten, wenn man Chlor über ein erhitztes Gemenge von Thorerde und Kohle leitet. Es bildet eine weiße krystallinische Masse, die an der Luft zerfließt. Das Thoriumchlorid ist flüchtig, so daß es sich bei schwacher Rothglüh Hitze unverändert sublimiren läßt.

Die Thorerde unterscheidet sich von allen übrigen Erden durch die schon angeführte Eigenschaft des schwefelsauren Salzes; insbesondere von der Thon- und Baryterde durch die Unauflöslichkeit in Aepkali und dadurch, daß sie aus den Auflösungen ihrer Salze durch Oxalsäure gefällt wird; von der Zinkerde dadurch, daß letztere, wenn eine Auflösung derselben in der Wärme durch eine Lösung von schwefelsaurem Kali gefällt worden ist, einen Niederschlag bildet, der in Wasser und Säuren fast unlöslich ist, während die Auflösungen der Thorerde damit Fällungen geben, die sich in vielem Wasser lösen; von der Mittererde dadurch, daß sie mit schwefelsaurem Kali ein Doppelsalz bildet, das in einer gesättigten Auflösung von schwefelsaurem Kali unlöslich ist und von der Magnesia durch das Verhalten gegen Ammoniak bei Gegenwart freier Säuren.

1851 glaubte Bergemann in Ponn in einem neu entdeckten Mineral, Orangit benannt und aus Zirkonsphenit von Previg in Norwegen herstammend, eine neue Erde aufgefunden zu haben *), deren Metall er mit dem Namen Donarium, nach dem germanischen Gotte Donar, dem nordischen Thor, benannte. Doch bereits im folgenden Jahre zeigte D a m o u r **), daß die von Bergemann für das Donariumoxyd angeführten Eigenschaften fast alle mit den von Bergelius für die Thorerde gefundenen übereinstimmen, mit Ausnahme des spec. Gew. und der Farbe, die nach Bergemann für das geglühte Donariumoxyd roth ist. Diese Abweichungen liegen darin begründet, daß die von Bergemann dargestellte Erde nicht rein war, sondern hauptsächlich noch Bleioxyd und Uranoxyd enthielt. Von diesen Beimengungen gereinigt besaß die vermeintliche neue Erde alle Eigenschaften der Thorerde. Die Angaben D a m o u r's wurden auch von Berlin bestätigt ***) und selbst Bergemann gestand die Identität des Donariumoxydes mit dem Thoriumoxyde zu ****). — Während Bergemann trotzdem den Orangit für specifisch verschieden hält vom Thorit, erklären D a m o u r und Berlin beide Mineralien für identisch, nur halten sie den Orangit ($3 \text{ RO} \cdot \text{SiO}_3 + 2 \text{ HO}$) für reiner.

W. P.

Tinte, Dinte (lat. Atramentum, franz. encre, engl. ink) nennt man eine gefärbte Flüssigkeit, deren man sich zum Schreiben bedient. Die Anwendung der Tinte ist sehr alt; schon Moses spricht davon. So sehr man auch im Alterthum an Kleidungsstoffen die hellen Farben liebte, so zog man doch beim Schreiben die dunkle Farbe vor. Fast allgemein bediente man sich der schwarzen Tinte, die aus seinem Ruß bereitet wurde. Dioscorides (im 1 Jahrhundert v. Chr. G. lebend) hat uns die Vorschrift einer solchen Tinte mitgetheilt (3 Th. Ruß auf 1 Th. Gummi, natürlich mit dem nöthigen Wasser). Jedoch waren auch andere Farben im Gebrauch, die eben so wie die schwarze mit feinen Pinseln aufgetragen wurden. L a n d e r e r sah jüngst eine kleine Papyrusrolle mit einer altphönici-schen Schrift in verschiedenen Farben, die in einem ägyptischen Grabe in der Nähe von Memphis aufgefunden worden war. Die Anfangsbuchstaben waren mit rother Tinte geschrieben, Zierrathen zeigten eine blaue Farbe und am Ende war ein Buchstabe auch vergoldet. Die rothe Farbe war hier Zinnober, die blaue wahrscheinlich eine Kupferlasur; das Gold war auf einer Unterlage aufgeklebt, die L a n d e r e r für Gyps erklärt. Die schwarze Tinte war auch hier Kohle; nur war nicht zu bestimmen, welcher Art das Klebemittel gewesen, durch welches die Farben befestigt worden. Aus der Feinheit der Schriftzüge ging auch mit Gewißheit hervor, daß sie nicht mit dem Pinsel, sondern mit einer Art Feder hervorgebracht waren. Wahrscheinlich dienten den alten Aegyptern, gleich den alten Hellenen, die Stengel von Calamus donax oder C. phragmites, oder auch, wie den heutigen Arabern, die Stengel der Volde von Ferula communis zum Schreiben.

Das Alter der noch heute gebräuchlichen schwarzen Tinte reicht wohl nicht bis ins dritte oder vierte Jahrhundert n. Chr. G. hinauf. Sie besteht immer noch im Wesentlichen aus gerb- und gallus-saurem Eisenoxyd mit Drydul, das in einer

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 561.

**) Compt. rend. T. XXXIV. p. 685.

***) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 555.

****) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 558.

durch arabisches Gummi dicklich gemachten Flüssigkeit schwebend erhalten wird. Während man sie früher aus einer Abkochung von Eichenrinde und Eisenvitriol bereitete, sind in neuerer Zeit an die Stelle der ersteren allgemein die Galläpfel getreten, die reicher an Gerbstoff sind. Der Vorschriften zur Bereitung der schwarzen Tinte sind sehr viele. Wir führen hier nur zwei an. Geißler empfiehlt 1 Pfund Galläpfel, 10 Unzen Eisenvitriol, 3 Unzen arabisches Gummi grobgestoßen mit 1 Quart Essig und 7 Quart Wasser zu übergießen; nach 8 bis 14 Tagen und öfterem Umrühren ist die Tinte fertig. Reid giebt an: 1 Pfund Galläpfel, $6\frac{1}{8}$ Loth Eisenvitriol und eben so viel Gummi und 3 Quart Wasser. Mit der Hälfte des letzteren kocht man die Galläpfel aus und dampft bis auf 1 Quart ein, wiederholt dasselbe mit dem ausgekochten Rückstande und löst in den 2 Quart Abkochung die übrigen Ingredienzien auf. — Eine frische Tinte schreibt stets blaß, weil darin noch viel Eisenorydul, das weder mit der Gerbsäure noch mit der Gallussäure eine dunkel gefärbte Verbindung giebt, enthalten ist. Das Nachdunkeln der Tinte beruht also darin, daß das Eisenorydul Sauerstoff aus der Luft aufnimmt und sich in Oxyd verwandelt.

Diese Tinte besitzt die sehr unangenehme Eigenschaft zu schimmeln; dem wird wohl durch Zusatz von Nelkenöl, Sublimat, Kreosot etc. vorgebeugt. Besser noch sollen 4 Loth Kochsalz auf je 2 Pfund Galläpfel wirken. Aber ernstest sind die anderen Vorwürfe, die man dieser Tinte macht: daß sie oft nach sehr langer Zeit gelb wird und die Stahlfedern sehr angreift. Dazu kommt noch, daß der Gummischleim doch nicht ganz das Absegen der unlöslichen Eisenverbindung hindert und durch Umwandlung der Gerbsäure in Gallussäure der Absatz noch vermehrt wird, wie denn auch das Verdunsten des Wassers aus dem offenen Tintenfaß die Unannehmlichkeit herbeiführt, daß der Gummischleim die Tinte zu sehr verdickt.

Die sogenannte *Munge'sche Chromtinte*, die für Stahlfedern gebraucht werden sollte, verdient eigentlich diesen Namen nicht. Ursprünglich erfunden ist diese Tinte von *Leuch*; da sie aber wieder in Vergessenheit gerathen, wurde von *Munge* von Neuem darauf aufmerksam gemacht *). Sie besteht aus 1000 Th. Blauholzabkochung (1 Th. Holz auf 8 Th. Wasser) und einem Theil neutralem chromsaurem Kali ohne Zusatz von Gummi oder irgend einer anderen Substanz. Sie ist demnach auch frei von Eisen; das färbende Princip ist hier eine Verbindung von Hämatern mit Chromoryd. Nach *Stein* erhält sie eine bessere schwarze Farbe und eine vollkommene Haltbarkeit durch Zusatz von einigen Tropfen Sublimatlösung. Sollte nach der vorstehenden Vorschrift die Tinte zu blaß ausfallen, so kann man ja die Blauholzabkochung beliebig stärker machen. Bei 6 Pfd. Colatur auf 4 Pfd. Blauholz und 1 Quentchen chromsaurem Kali setzt sich aber beim ruhigen Stehen ein bedeutender Bodensatz ab, ein Beweis dafür, daß die Tinte mehr Wasser vertragen kann. Es wird daher angemessener sein, die Mitte zwischen der vorstehenden Vorschrift und der *Munge's* zu halten; also 18 Pfund Absud von 4 Pfunden Blauholz und ein Loth chromsaures Kali. Da man das Blauholzextract käuflich findet, so ist die Bereitung dieser Tinte mit wenig Mühe verbunden. Man übergießt 2 Loth von dem gepulverten käuflichen Blauholzextract mit kochendem Wasser, setzt nach erfolgter Auflösung ein Quentchen gelbes chromsaures Kali hinzu und rührt gut um. Damit ist die Tinte fertig. Sie hat eine

*) *Dingler's polyt. Journ.* Bd. CIX. S. 223.

prächtige tief violettblaue Farbe, welche man beim Schütteln der Flasche an der längs des Glases herabfließenden dünneren Schicht deutlich bemerkt. Nach Kar-marsh liefert diese Tinte ein vortreffliches Mittel zum Schwarzbeizen des Holzes. Sie wird ohne Erwärmung und überhaupt ohne alle Vorbereitung mittelst eines Pinsels oder Schwammes aufgetragen und nach dem Trocknen der Anstrich drei oder höchstens viermal wiederholt. Den höchsten Grad von Schönheit erlangt diese Schwärze, sobald Politur oder ein Firniß darüber gesetzt wird.

Trotz der gewichtigen Empfehlung und den unverkennbar guten Eigenschaften (ungemeine Wohlfeilheit, angenehme Schwärze, leichtes Kleben auf der Feder und Nichtangreifen der Stahlfeder) ist diese Tinte doch nicht sehr in Aufnahme gekommen. Eine andere Blauholzfarbe empfiehlt Reinige. Man versetze 4 Unzen concentrirtes Blauholzdecoct mit 48 Gran Eisenvitriol, setze dann 8 Scrupel frystallisirtes kohlensaures Natron, hierauf eine Drachme Oxalsäure und nach völligem Abseihen 4 bis 6 Scrupel arabisches Gummi hinzu.

Vor zwei Jahren wurde eine neue Tinte mit einem großen Aufwande von Marktfreierei und Charlatanerie, wie er nur selten zum Vorschein kommt, angepriesen. Schon der ganz unpassende Name Alizarintinte verräth zu deutlich, daß man es hier mit einer Mystification zu thun hat. Der Name war nur ein Schutzmittel, um die Nachahmung dieser Tinte zu verhindern, damit der Erfinder um so ungehörter seinen Säckel durch den Tribut der Leichtgläubigen füllen konnte. Vor dem Forum der Chemie mußte jeder Spuk verschwinden und wenige Wochen reichten hin, um das Geheimniß der so viel besprochenen Alizarintinte zu entsleiern. Zur Warnung für andere Speculanten dieses Schlages wollen wir auf diese Untersuchung *) etwas näher eingehen. Die Alizarintinte riecht deutlich nach Holzeßig; dieser specifische Geruch und die eigenthümlich grünliche Färbung dieser Tinte legten den Gedanken sehr nahe, daß man es im Wesentlichen mit einer Auflösung von Eisenvitriol in Holzeßig zu thun habe. Der letztere enthält bekanntlich einen Körper, der ein sehr allgemeines Product der trocknen Destillation vegetabilischer Stoffe ist und dessen Formel ($C^{12} H^6 O^4$) 2 Aequiv. Sauerstoff mehr enthält als die Phansäure (Carbolsäure = $C^{12} H^6 O^3$), weshalb er von H. Wagner den passenden Namen Oxypfansäure erhalten hat. Eine charakteristische Reaction dieser Säure besteht eben darin, daß ihre Auflösung durch Eisenorydsalze tiefgrün gefärbt wird. Als nun Eisenvitriol in Holzeßig aufgelöst wurde, war das Ergebniß nicht ganz befriedigend; es stellte sich heraus, daß die Alizarintinte noch andere färbende Bestandtheile enthalten müsse. Ein Zusatz von Salzsäure zur ächten Tinte gab die gewünschte Auskunft; der grüne Ton war verschwunden und nun erschien die Tinte schön blau, ohne daß sich die Farbe beim Kochen änderte. Dieses Verhalten deutete auf eine sehr beständige Farbe, die sich sehr bald als Indigo erwies, da die blaue Farbe auf Zusatz von Salpetersäure beim Erwärmen zerstört wurde. Hiernach war also die so vielfach angepriesene Tinte nichts weiter als eine gewöhnliche Galläpfeltinte mit einem Beisatz von rohem Holzeßig und Indigolösung. Und als solche erwies sie sich denn auch, als die Vorschrift nach Ertheilung des hannoverschen Patents veröffentlicht wurde. 42 Th. Galläpfel und 3 Th. holländischer Krapp werden mit so viel warmem Wasser ausgezogen, daß die Flüssigkeit 120 Th. beträgt. Zu dieser setzt man $1\frac{1}{2}$ Th. Indigolösung,

*) Mitteln's Vierteljahresschrift für prakt. Pharm. Bd. V. S. 225.

5 $\frac{1}{5}$ Th. Eisenvitriol und 2 Th. holzessigsaure Eisenlösung. Der Krapp ist hierbei durchaus ganz unwesentlich und dient nur dazu, um den Leuten Sand in die Augen zu streuen.

Durch die in der Alizarintinte enthaltene freie Schwefelsäure wird das Eisenoxydul vor der Oxydation geschützt. Während sich in den gewöhnlichen Tinten das gerbsaure Eisenoxydul mit der Zeit in gallussaures Eisenoxydorydul verwandelt, enthält jene nur gerbsaures Eisenoxydul, eine fast farblose Verbindung. Darum mußte der Alizarintinte nothwendig eine Farbe (Indigo) zugelegt werden, damit sie beim Schreiben sichtbare Schriftzüge hinterlasse. Doch darf man mit dem Zusatz der Schwefelsäure nicht zu freigebig sein, weil sonst dadurch die Stahlfeder zu sehr angegriffen wird. Je weniger freie Schwefelsäure die Alizarintinte enthält, um so früher wird das Geschriebene schwarz und je weniger wird die Stahlfeder angegriffen, aber um so früher erscheint auch der Niederschlag in der Tinte. So ist also trotz aller marktchreierischen Anpreisung der vortrefflichen Eigenschaften der neuen Tinte Nichts gebessert. Der einzige Vorzug besteht allerdings darin, daß die Alizarintinte leichter aus der Feder fließt, aber das ist auch Alles. Es sind viele Vorschriften ohne Krapp bekannt gemacht und manche liefert eine viel bessere Tinte als die marktchreierisch angepriesene. Die beste Vorschrift ist nach Vley die von Prollius in Hannover; sie soll an Güte bei Weitem die in den Handel gegebene originale Alizarintinte übertreffen. Man bereitet auf 10 Pfd. Tinte einerseits einen Auszug von 1 $\frac{1}{4}$ Pfd. Galläpfel mit so viel heißem Wasser, daß man genau nach der Colatur 5 Pfd. Flüssigkeit erhält. Andererseits vermischt man 4 Loth Indigopulver mit $\frac{1}{2}$ Pfd. rauchender Schwefelsäure, läßt die Mischung 24 Stunden stehen und löst dann dieselbe in 5 Pfd. Wasser. Zu dieser Lösung kommen 8 Loth Kreidepulver, um einen Theil der Säure abzustumpfen, und 8 Loth Eisenfeilspäne, um mit der Schwefelsäure Eisenvitriol zu bilden. Um den lästigen Schaum, der hierbei entsteht, zu überwältigen, tröpfelt man einige Tropfen Schwefelätherweingeist darauf, wodurch er plötzlich verschwindet. Nachdem die Lösung filtrirt ist, gießt man sie mit dem Galläpfelauszuge zusammen. Diese Tinte ist völlig klar, fließt vorzüglich gut aus der Feder, setzt weder Bodensatz noch Schimmel an und wird nach einigen Stunden vollkommen und bleibend schwarz.

Einige Recepte schreiben Oxalsäure vor, um die blauschwarze Flüssigkeit, die frühere Tinte, vor dem Zusatz der Indigolösung fast ganz zu entfärben; doch ist dies ganz unnöthig. Durch die Oxalsäure wird der Eisenvitriol zersetzt; es bildet sich oxalsaures Eisenoxyd und durch die freiwerdende Schwefelsäure wird das gerbstoffsaure Eisenoxydul aufgelöst. Den der Alizarintinte eigenen dunkelgrünen Ton erhält man daher auch eben so schön ohne Oxalsäure, da die Indigolösung hinreichend Schwefelsäure enthält. — Man thut besser Indigo in Schwefelsäure aufzulösen, als den sogenannten Indigofarmin zu nehmen, der durch den Eisenvitriol sehr leicht reducirt wird, wodurch die Tinte nach einiger Zeit die schöne blaue Farbe verliert.

Die sogenannten Copirtinten sind im Grunde nichts weiter als gewöhnliche Tinten; entweder sind sie überhaupt concentrirter oder sie enthalten nur mehr Gummi, damit sie dickflüssiger sind und mehr davon auf dem Papier haften bleibt, da eine Theilung eintreten soll. Das beschriebene Blatt wird mit sehr dünnem, feuchten Papier bedeckt und kommt dann unter eine Presse. Durch die Feuchtigkeit

des Papiers wird die Tinte wieder flüssig, wenigstens in so weit, daß sich die Schriftzüge auf dem anderen Blatt abdrucken, wodurch das umständlichere Abschreiben vermieden wird.

Statt der früher und auch wohl jetzt noch im Handel vorkommenden, wenig praktischen Lintenpulver, d. h. der einzelnen Bestandtheile in Form von einem gröblichen Pulver, das mit heißem Wasser übergossen, Tinte liefert, empfiehlt *Leonhardi*, der Erfinder der Alizarintinte, die Tinte so lange bei mäßiger Wärme abzudampfen, bis eine Probe davon in der Kälte fest wird. Ein Theil dieser Tafeltinte in sechs Theilen heißen Wassers gelöst würde eine vorzügliche Schreib- oder Copirtinte liefern und mit 10 bis 15 Th. Wasser noch gute Schreibintinten. Die Hauptvorthelle werden darin gesucht, daß die Tinte in dieser Form eine Versendung in weite Fernen und zu jeder Jahreszeit, also auch im Winter, wo die flüssige gefriert, zuläßt und die Kosten derselben bedeutend vermindert.

Die Tinte der Alten hatte vor der jetzt gebräuchlichen wenigstens den Vorzug, daß sie der Einwirkung chemischer Mittel besser widerstand. Durch Chlor können die Schriftzüge der gewöhnlichen schwarzen Tinte zum Verschwinden gebracht werden; aber jede Spur derselben von dem Papier zu entfernen hält sehr schwer. Man kann daher in der Regel, da das Eisen, wenn auch nicht sichtbar, doch noch auf dem Papiere vorhanden ist, eine solche Schrift wiederherstellen. Man bestricht das Papier mittelst eines feinen Pinsels mit sehr verdünnter Salzsäure und dann mit einer Auflösung von blausaurem Kali oder mit einer Galläpfelabkochung. Sobald die Schrift sichtbar wird, legt man ein Blatt Druckpapier darauf und drückt dieses sanft an, um die überflüssige Flüssigkeit fortzunehmen. Hat man gelbes Blutlaugensalz angewendet, so erscheint die Schrift blau, indem sich Berlinerblau gebildet hat, im anderen Falle aber schwarz.

Als die hauptsächlichsten Mittel eine unzerstörbare Tinte herzustellen dienen hauptsächlich fein zerkleinerte Kohle, schwarze Tusch und Chlormangan. Folgende Vorschrift wird sehr gelobt: 2 Pfund Galläpfel werden mit 4 Quart Wasser bis auf 1 Quart eingekocht, dann 12 Loth Eisenvitriol hinzugesetzt und die Flüssigkeit durch ein Tuch gegossen. Zu der Flüssigkeit mischt man 1 Loth Chlormangan und vertheilt dann 1 Loth chinesische Tusch darin. — Weniger zu empfehlen ist wohl die Vorschrift von *Westrum*. Man kocht 6 Loth Galläpfel und 2 Loth Blauholz mit 3 Pfund Wasser zu 2 Pfund ein, seigt durch und löst in der Flüssigkeit 1 Loth Eisenvitriol und $\frac{1}{2}$ Loth arabisches Gummi und Zucker auf. Dann mischt man $2\frac{1}{2}$ Loth fein gepulverten Indigo und $1\frac{1}{2}$ Loth Kienruß hinzu und zuletzt noch 2 Loth Branntwein.

Eine ganz eigenthümliche Tinte hat *Braconnot* dargestellt. 20 Grm. Pottasche werden in Wasser gelöst und mit 10 Grm. zerkleinerten Federabfällen oder einer anderen animalischen Substanz und 5 Grm. Schwefelblumen in einem gußeisernen Gefäße bis zur Trockne eingekocht, dann unter beständigem Umrühren so lange erhitzt, bis sich die Masse erweicht, wobei indeß eine Entzündung derselben sorgfältig zu vermeiden ist. Die Masse wird in einer angemessenen Menge Wasser gelöst, die Flüssigkeit durchgeseiht und in wohlverschlossenen Flaschen aufbewahrt, in denen sie sich sehr gut hält. Die schön dunkelkastanienbraune Flüssigkeit besitzt alle Eigenschaften einer guten Tinte. Sie fließt nicht nur besser als die gewöhnliche Tinte und belästigt die Feder nicht durch darin schwebende Körper, sondern widersteht auch sehr kräftig chemischen Agentien, doch nicht absolut, denn

wiederholte abwechselnde Digestion mit Chlor und Kalihydrat brachte sie neulich doch zum Verschwinden.

Baudrimont hat neuerdings eine Auflösung von Kaliwasserglas und Kienruß als unauslöschliche Tinte empfohlen. Diese Tinte greift zwar die Stahlfedern nicht an und eignet sich auch für die feinsten Schriftzüge, doch besitzt sie zwei üble Eigenschaften, die ihre Verwendung durchaus ausschließen. Sie durchdringt nicht nur das Papier, sondern in dieser Verdünnung wird das kiesel-saure Kali sehr leicht durch die Kohlensäure der Luft zersetzt. Dann wird die Verbindung mit dem Papier so gelockert, daß man die Schriftzüge mit Federharz wegwischen kann.

Da die gewöhnliche Tinte sehr selten chinesische Tusche oder Ruß enthält, so sind die Flecke derselben auf Papier, Kleiderstoffen oder Holz auch fortzuschaffen. Man kann hierzu fast alle Säuren verwenden, doch hat man diejenige auszuwählen, die den geringsten Schaden verursacht. Hat man es mit Holz zu thun, so kann man mit gerade nicht sehr verdünnter Salzsäure und Schwefelsäure die Flecke fortzuschaffen. Bei Kleiderstoffen und Papier muß man die weniger scharfen Pflanzensäuren (Oxalsäure, Citronensäure oder Weinsäure oder saures oxalsäures Kali, das sogenannte Sauerklee-salz) anwenden. Man läßt die Lösungen derselben einige Minuten auf die Flecke einwirken und schafft die Säure durch Wasser fort. Man wiederholt dies Verfahren so lange, bis der Fleck verschwunden ist. Ist man vorsichtig, so kann man die Pflanzensäuren selbst bei den feinsten Zeugen ohne Nachtheil benutzen. Wird die Farbe der Gewebe hierbei beeinträchtigt, so kann man sie häufig durch verdünnte Ammoniakflüssigkeit wieder herstellen. Bei weißen Geweben und Papier thut auch Chlornasser gute Dienste, besonders wenn die Tinte Indigo enthält; doch ist auch hier große Vorsicht nöthig. — Durch öfteres Waschen geht zwar die schwarze Farbe der Tinten-flecke verloren, aber dann bleibt ein sogenannter Rost- oder Eisenfleck zurück, der sich nicht gut durch die genannten Säuren entfernen läßt, da er nicht reines Eisenoxydhydrat ist, sondern eine Verbindung des Eisenoxydes mit den fetten Säuren der Seife. Hier leistet nach Runge Kaliumeisencyanür gute Dienste. Man setzt es in geringer Menge dem mit Schwefelsäure angesäuerten Wasser zu und bewegt die Wäsche darin hin und her. Der Fleck nimmt sogleich eine blaue Farbe an, weil die fette Säure vom Eisenoxyd abgeschieden wird und sich Berlinerblau bildet. Nun spült man die Wäsche und nimmt sie durch Pottaschenlösung. Die Pottasche zerlegt das Berlinerblau und löst gleichzeitig einen großen Theil des Eisenoxydes auf; die noch übrigen Reste des letzteren können dann leicht durch verdünnte Schwefelsäure fortgenommen werden.

Unter den farbigen Tinten werden am meisten die rothen und blauen gebraucht, doch lange nicht mehr in dem Umfange wie in den Zeiten vor der Erfindung der Buchdrucker-kunst. Selbst noch in den ältesten gedruckten Büchern findet man die Anfangsbuchstaben mit farbiger Tinte geschrieben. Die schönste rothe Tinte stellt man durch Auflösen von Carmin (12 Gran) in Aëkammoniak (6 Loth) und Zusatz von 18 Gran Gummi dar; doch ist sie theuer und wenig haltbar. Ueber geringe Haltbarkeit hat man am meisten und fast allgemein bei der rothen Tinte zu klagen, deshalb darf man nicht große Vorräthe davon anfertigen. Wir lassen hier einige Vorschriften folgen, denen Gutes nachgeredet wird. 1) Es werden 4 Loth Cochenille, gröblich gepulvert, in 1 Pfd. Wasser geschüttet, in welchem

Kohlensaures Ammoniak aufgelöst worden ist und zwar so viel, daß es deutlich vorherrscht. Nach einer Stunde seihet man die Flüssigkeit durch Leinwand und setzt zu ersterer von einem Gemenge aus 4 Loth Alaun und 4 Loth Weinslein des Aufbrausens wegen nach und nach kleine Portionen zu, bis die gewünschte Höhe der Farbe zum Vorschein gekommen ist. Nach einer Zeit gießt man die Tinte von dem geringen Bodensatz ab, fügt eine Auflösung von 3 Loth Gummi in Wasser und ein wenig Nesselöl hinzu. 2) Man nimmt $1\frac{1}{2}$ Loth gutes Cochennilpulver, 3 Loth gereinigtes kohlensaures Kali und 1 Pfd. destillirtes Wasser und macerirt diese Substanzen 2 Tage hindurch. Dann setzt man 9 Loth Cremor tartari und $\frac{1}{4}$ Loth Alaun hinzu und erhitzt so lange, bis alle Kohlen Säure entwichen ist. Der Rückstand beim Filtriren wird mit 3 Loth destillirtem Wasser ausgewaschen und dem Filtrat, um das Verderben zu verhüten, 2 Loth Alkohol hinzugesetzt; doch muß man hierbei vorsichtig sein, damit sich nicht Färbstoff niederschlägt. Nach der Größe des Verbrauches löst man in 1 Pfd. der rothen Flüssigkeit $1\frac{1}{2}$ Loth Gummi auf. Das Präparat soll ausgezeichnet sein. Ohne Gummizusatz ist es zum Färben von Liqueuren, zur Darstellung rother Pomaden u. gut zu verwenden. Will man diese Tinte für lange Zeit schön erhalten, so vertheilt man sie gleich in kleine Gläschen. — Von geringerer Schönheit ist die rothe Tinte aus Bernamkusholz. 8 Loth des letzteren werden mit 1 Pfd. Essig und eben so viel Wasser auf $1\frac{1}{2}$ Pfd. eingekocht. Dann setzt man 2 Loth Alaun hinzu und dunstet auf 1 Pfd. ein. Nachdem man 2 Loth Gummi in der Flüssigkeit aufgelöst hat, seihet man durch und setzt zu der erkalteten Flüssigkeit 1 Quentchen Zinnchlorür, um die Farbe zu beben.

Die blaue Tinte wird gemeinhin durch Auflösen von Berlinerblau (24 Th.) in 1000 Th. Wasser und 4 Th. Oxalsäure bereitet. Die unter dem Namen Berliner oder Pariser Blau vorkommenden Farben sind aber in ihrer Zusammensetzung verschieden, weshalb sie sich auch nicht alle gleich gegen Oxalsäure verhalten. Außerdem enthalten die in dem Handel vorkommenden Sorten Berlinerblau wechselnde Mengen von farblosen Erden, gewöhnlich Thonerde, häufig auch Kartoffelstärke. Die Löslichkeit in Oxalsäure wird erhöht, wenn die Farbe vorher mit Salzsäure behandelt worden ist. Hier reicht ein Einstreuen der Oxalsäure in den breiigen Niederschlag hin, um diesen leicht auflöslich in Wasser zu machen. Nimmt man aber gewöhnliches Berlinerblau, so rührt man dasselbe mit wenig Wasser zu einem Brei an, verreibt diesen recht lange mit der Oxalsäure und setzt das übrige Wasser nur allmählig zu. Versäumt man dies, so setzt sich das Blau sehr bald vollständig ab und läßt sich nur durch neuen Zusatz von Oxalsäure wieder in Auflösung bringen, wodurch es aber leicht, wenn die Oxalsäure ein gewisses Maß überschreitet (1 : 8 Berliner Blau), durchschlagend wird. Eine blaue Tinte, die Oxalsäure enthält, ist zum Schreiben mit Stahlfedern undrausbar, da sie sich in der Feder selbst während des Schreibens zerlegt. Diesem Uebelstande soll dadurch abgeholfen werden, daß man die Tinte frieren und nur eben wieder aufbauen läßt. Dann gießt man von dem Hauswerk der tiefblau gefärbten Krystalle die gelblich gefärbte, saure Flüssigkeit ab und erhält durch Auflösen des Bodensatzes in destillirtem Wasser eine sehr schöne blaue Tinte. Eine für Stahlfedern geeignete blaue Tinte erhält man nach Ohme, wenn man 4 Scrupel Liq. ferri sesquichlorati der preuß. Pharmacopöe mit 8 Unzen destillirtem Wasser versetzt und außerdem 1 Loth gelbes Blutlaugensalz gleichfalls in 8 Unzen Wasser auflöst.

Weisse Flüssigkeiten werden unter beständigem Umrühren gemischt, der Niederschlag auf ein Filter gebracht und so lange mit destillirtem Wasser ausgewaschen, bis er anfängt, sich in dem ablaufenden Wasser mit prächtig blauer Farbe zu lösen. Man durchsüßt dann das Filtrum und löst den Niederschlag in so viel Wasser auf, daß das Ganze $1\frac{1}{2}$ Pfund wiegt. Vor längerer Zeit war eine blaue Tinte, die aus Grünspan und Weinstein bereitet wurde, im Gebrauch, die aber über die aus Berliner Blau hergestellten mit Unrecht vergessen zu sein scheint. 2 Th. Grünspan und 1 Theil Weinstein werden mit 8 Th. Wasser digerirt, die Flüssigkeit wird abgeseigt und der Rückstand noch einmal mit Wasser behandelt. Die filtrirten Flüssigkeiten überläßt man der freiwilligen Verdunstung bis zur gehörigen Concentration. Diese Tinte hat eine hellblaue, aber dennoch intensive und feurige Farbe, deren eigenthümlicher, vielen Kupferpräparaten eigenthümlicher Ton manche Vorzüge besitzt; sie bildet keinen Bodensatz, fließt gut aus der Feder, hat nach dem Trocknen, wiewohl kein Gummi hinzu kommt, den Glanz des besten Lackfirnisses und kann auch als Aquarellfarbe gebraucht werden, z. B. bei Nachahmung der Broncefarbe, wenn man damit ein Bild überseht, das mit schwarzer Tusche hergestellt ist.

Eine schöne dunkelgrüne Tinte erhält man nach Lefkauf, wenn man ein Gemisch von Weingeist (32° Richter) und Schwefelsäure erwärmt und diese Mischung in eine gesättigte Auflösung von saurem chromsaurem Kali schüttet. Es entsteht nach längerem Erhitzen, indem die Chromsäure zu grünem Chromoxyd reducirt wird, ein öartiges Fluidum, welches, da es in Weingeist nicht löslich, sich zu Boden setzt. In Wasser gelöst liefert es eine schöne grüne Tinte, welche weder Stahlfedern noch Papier angreift. Diese Chromtinte hat doch nicht Jedermanns Beifall erhalten; oft soll man nur eine gelbgrüne oder gelbbraune Flüssigkeit erhalten, die auch nach Zusatz von Indigolösung noch Manches zu wünschen übrig ließ. Bessere Resultate soll man erzielen, wenn man ein Quentchen fein geriebenes Gummi Gutti allmählig mit 2 Loth einer schönen blauen Tinte zusammenreibt. Je nach der Menge des zugekehrten Gummi Gutti kann man übrigens jede gewünschte Farbennuance erhalten, von Saffor- bis zum Grasgrün. — Ein Zusatz von arabischem Gummi ist weder bei der blauen, noch bei der grünen Tinte vorthellhaft oder zulässig.

Unter dem Namen Goldtinte, mit der man angeblich wie Golddruck schreiben kann, wird eine sehr fein vertheilte Bronze, mit einer verdünnten Gummilösung (ungefähr $\frac{1}{2}$ Loth Bronze auf $2\frac{1}{2}$ Loth Flüssigkeit) angerieben, für den geraden nicht billigen Preis von $1\frac{1}{6}$ Thlr. verkauft.

Außer den gewöhnlichen Tinten giebt es noch andere, die sogenannten sympathetischen, deren Schriftzüge für sich nicht sichtbar sind, sondern erst durch verschiedene Manipulationen zum Vorschein kommen. Der Gebrauch solcher Tinten reicht bis ins Alterthum hinauf, denn schon Ovid empfahl den Römerinnen ein Mittel, um ihre Liebesbriefe für unberufene Augen unlesbar zu machen. Sie sollten die Briefe mit frischer Milch schreiben und dann, sobald sie wollten, daß die Schriftzüge zum Vorschein kämen, Kohlenstaub darauf streuen *). Hier wer-

*) De arte amandi, libr. III. v. 629:

Tota quoque est, fallitque oculos e lacte recenti
Littera: carbonis pulvere tange; leges.

den die unlesbaren Schriftzüge durch einen einfachen mechanischen Vorgang lesbar, indem der Kohlenstaub auf den fettigen Theilen der Tinte haften bleibt; bei den jetzt gebräuchlichen sympathetischen Tinten ist der Vorgang ein chemischer. Auch diese sind bereits seit langer Zeit im Gebrauch. Das erste Kunststück dieser Art lehrte 1653 ein französischer Arzt Borel, nämlich die Schwärzung der unsichtbaren Schriftzüge, die mit einer Auflösung von eßigsaurem Blei gemacht worden sind, durch eine Auflösung von Schwefelcalcium. Die letztere Flüssigkeit hiess *aqua magnetica longinquo agens*, weil die Schwärzung der Schriftzüge selbst durch viele Blätter Papier oder ein Bret hindurch stattfindet. Der Name sympathetische Tinte findet sich zuerst in der Ausgabe von 1681 des *Cours de chimie* von Lemeray. Das Publikum erblickte in diesem artigen Spielwerk ein Wunder, das einen großen Lärm machte, so daß noch im folgenden Jahrhundert Abenteuerer eigends umher reisten, um den Wunderglauben des Publikums auszubeuten. Lemeray mußte bereits, daß sich eine Auflösung von Wismuth in Salpetersäure eben so verhält, wie eine Bleilösung. Er kannte auch den Grund, warum die anfangs unsichtbaren Schriftzüge lesbar hervortreten; weil sich der Schwefel mit dem Blei und Wismuth verbindet, während man vor ihm zu der Sympathie und Antipathie seine Zuflucht nahm, um das scheinbare Wunder zu erklären.

Homburg, der 1698 über diesen Gegenstand vor der Pariser Akademie einen Vortrag hielt, führt außer den obigen noch verschiedene andere sympathetische Tinten an: Gold- und Zinnlösung, Schwefelglanzlösung und antimonialische Schwefelleber, geistige Rosentinctur und verdünnte Schwefelsäure. Hellot theilte 1737 diese Tinten bereits in 4 Klassen: die Schriftzüge werden hervorgehoben durch eine andere Flüssigkeit oder durch die Einwirkung von Dämpfen, durch Aussetzen an die Luft, durch die Wärme oder durch Ausstreuen eines farbigen Pulvers. Hellot schreibt man auch wohl die seiner Zeit großes Aufsehen machende Entdeckung zu, daß mit Kobaltlösungen (Chlorkobalt oder eßigsaurem Kobaltoxyd und Kochsalz) geschriebene Schriftzüge, die so blassroth erscheinen, daß sie fast unsichtbar sind, beim Erwärmen, indem das Wasser fortgeht, deutlich mit blauer Farbe hervortreten und beim Erkalten wieder verschwinden, indem die Kobaltlösung wieder Wasser aus der Luft aufnimmt. Diese Entdeckung aber hat Hellot nicht gemacht, sondern durch ihn ist sie nur bekannter geworden. Zum ersten Mal ist davon die Rede in einer 1705 erschienenen alchemistischen Schrift: „Schlüssel zu dem Cabinet der geheimen Schatzkammer der Natur“, deren Verfasser der Gorbaische Leiborzt Jacob Waiß gewesen sein soll.

Heute ist die Zahl der sympathetischen Tinten eine Region und wer irgend nur mit den chemischen Reactionen bekannt ist, kann leicht zwei Flüssigkeiten finden, die zu diesem Zwecke zu gebrauchen sind. Die Schriftzüge treten in allen möglichen Farben hervor: blau, grün, roth, gelb, braun, schwarz, weiß u. Einen wirklichen Nutzen kann man weniger daraus ziehen; sie dienen nur mehr zu belustigenden und unterhaltenden Versuchen.

Auch zum Zeichnen der Wäsche bedient man sich verschiedener Tinten. Die älteste ist die sogenannte unauslöschliche Tinte und deren wirksamer Bestandtheil salpetersaures Silberoxyd. Gerapath fand *) auf dem Leinen, worin eine

*) Phil. Mag. Vol. III. p. 528.

Mumie, deren Alter auf 3000 Jahre geschätzt wurde, eingeschlagen war, einige Hieroglyphen, die das Ansehen hatten, als wären sie mit unauslöschlicher Tinte geschrieben. Und in der That wies die Untersuchung Silber darin nach. — Eine recht gute Vorschrift zu einer solchen Zeichnentinte ist folgende: 1 Loth Höllenstein wird in 5 Loth destillirtem Wasser gelöst und dann 1 Loth Gummi hinzugesetzt. Durch etwas chinesische Tinte wird die Flüssigkeit gefärbt. Beim Gebrauch wird die Stelle, welche man beschreiben will, vorher mit einer Lösung von kohlensaurem Natron getränkt. Durch das Alkali wird Silberoxyd auf die Faser niedergeschlagen und durch das Licht zu schwarzem, metallischem Silber reducirt. Die Schwärzung wird durch directes Sonnenlicht beschleunigt. An Stelle des kohlensauren Natron kann man auch Stärkekleister mit ein wenig Leim anwenden, um der Tinte die Eigenschaft des Zerfließens zu nehmen. Die Schwärzung (Reduction) wird durch das Licht allein bewirkt. — Rindt empfiehlt für die Anwendung eines Stempels folgende Vorschrift: 11 Th. salpetersaures Silberoxyd, 22 Th. Salmiakgeist, eben so viel krystallisirtes kohlensaures Natron, 50 Th. arabisches Gummi, 2 Th. Saftgrün und 15 Th. destillirtes Wasser. Das Schwarzwerden der Schrift erzielt man am besten durch Bügeln mit einem Plätteisen. — Den Namen unauslöschliche Tinte verdient die Silberlösung mit vollem Rechte nicht. Durch das Waschen wird allerdings die Schrift nicht vernichtet, aber durch chemische Mittel, z. B. durch Jod und Kalilauge, oder Chlorwasser und Ammoniak kann man sie vollständig zum Verschwinden bringen.

Eine viel wohlfeilere Zeichnentinte liefert folgende Vorschrift: 1 Quentchen Indigo wird in 1 Loth rauchender Schwefelsäure gelöst und durch $\frac{1}{2}$ Pfund Wasser verdünnt; die Säure wird durch Eisenfeile abgestumpft und dann die Flüssigkeit abgegossen. Letztere wird mit einer Abkochung ($\frac{1}{2}$ Maß) von $\frac{1}{4}$ Pfd. Galläpfeln und 4 Loth Campecheholz gemischt und dann darin 2 Loth arabisches Gummi und 1 Loth Zucker aufgelöst. Noch einfacher ist der Gebrauch einer gesättigten Lösung von salpetersaurem oder essigsaurem Bleioxyd, der etwas arabisches Gummi zugesetzt worden ist. Sobald man die Schriftzüge über Schwefelwasserstoff hält, werden sie augenblicklich tief schwarz.

Neben der schwarzen Tinte sind auch verschiedene farbige zum Zeichnen der Wäsche vorgeschlagen. Braun: man trinkt die zu beschreibende Stelle mit einer Lösung von 1 Quentchen gelbem Blaulaugensalz und $1\frac{1}{2}$ Quentchen arabischem Gummi in 3 Quentchen Wasser; nach dem Trocknen und Glätten schreibt man mit einer Auflösung von 1 Loth essigsaurem Manganoxyd in 3 Loth Wasser. — Blau: Man löst 5 Gran Molybdänoxyd in Salzsäure und setzt 6 Gran arabisches Gummi und 2 Gran Süßholzextract in 1 Loth Wasser gelöst hinzu. Nachdem die Schriftzüge getrocknet sind, zieht man sie durch ein Bad von Zinnchlorür. Die Schrift haftet sehr gut und widersteht Säuren und Alkalien. — Roth: Die Leinwand wird wie bei der Silberlösung vorher getränkt und dann schreibt man mit einer Auflösung von 4 Grm. Platinchlorid in 64 Grm. destillirtem Wasser. Sobald die Schrift trocken ist, zieht man jeden Strich mit einer in Zinnchlorürlösung (1:16) getauchten Feder nach. Sogleich erscheint eine schöne dauerhafte Purpurfarbe, welche von Seife nicht angegriffen wird.

Zum Schreiben auf Metall bedarf man besonderer Tinten. Für Zinkblech, namentlich bei Anfertigung der Etiquetten, wie sie in Gärten zur Bezeichnung der Pflanzen gebräuchlich sind, löst man gleiche Theile essigsaures Kupferoxyd und

Salmiak in einer hinreichenden Menge destillirtem Wasser auf. Mit dem Filtrat schreibt man auf dem blank geschleuerten Zinkblech. Die Schriftzüge werden bald tief schwarz und haften sehr gut. — Für Kupfer und Silber kocht man Schwefelantimon mit starker Kalilauge und filtrirt nach dem Erkalten den Kermes, der sich ausgeschieden hat, ab. Auf Zinn, Blei und Zink haftet diese Tinte nicht; auch Eisen wird dadurch nicht angegriffen, weshalb man zum Schreiben recht gut Stahlfedern gebrauchen kann.

Lithographische Tinte nennt man eine fettig harzige Masse, welche auf den Stein aufgetragen, die damit beschriebenen Stellen beim nachfolgenden Abwischen vor dem Angreifen der Säuren schützt. Dadurch entstehen Erhabenheiten, welche die Schwärze annehmen und so eine Vervielfältigung der Zeichnung ermöglichen. Die Tinte wird mit Wasser angerieben und bildet damit eine Emulsion. Vorschriften: Wachs 16, Schellack 12, Mastix 8, Talg 6, harte Talgseife 6 Th. werden geschmolzen und dann innig mit Ruß 4 Th. und venetianischem Terpentin 1 Th. gemischt. — Oder: Talg $3\frac{1}{2}$, weißes Wachs 6, Seife 6, Schellack $4\frac{1}{2}$, Mastix und Butter 1 Th. werden geschmolzen und dann $\frac{1}{2}$ Th. Federharz in Lavendelöl gelöst damit gemischt. Man zündet jetzt die Masse an, läßt sie etwa 2 Minuten lang brennen und löscht darauf die Flamme durch Auflegen eines Deckels aus. Auf einem Farbereibestein reibt man die Masse mit $2\frac{1}{2}$ Th. Ruß zusammen, schmilzt aufs Neue, rührt die Masse tüchtig durch und gießt sie dann aus. — Nach Weißhaupt schmilzt man 40 Th. gelbes Wachs, bis sich der Dampf desselben entzündet, wenn er mit einem brennenden Späne in Berührung kommt, entfernt dann vom Feuer und mischt 10 Th. Mastix, 28 Th. Gummilack und 22 Th. Marseiller Seife in kleinen Portionen hinzu. Darauf erstickt man die Flamme und mischt 9 Th. Kienruß genau unter. Man erhitzt wieder, bis sich der Dampf entzündet; die Flamme wird aber sofort erstickt und die Masse ausgegossen.

Die sogenannte autographische Tinte ist eine der vorstehenden ähnliche, nur etwas weichere Masse. Man schreibt damit auf besonders geleimtes Papier und überträgt die Schrift, um sie zu vervielfältigen, auf lithographischen Stein. Man fertigt diese Tinte aus 10 Th. trockner Seife, 10 Th. weißem Wachs, 3 Th. Schellack, 5 Th. Mastix, 3 Th. Hammeltalg und 3 Th. Ruß. W. B.

Titan, ein Metall. Chem. Zeichen: Ti. Aequivalent: 301,55 ($O = 100$) oder 24,16 ($H = 1$).

Das Titan kommt in der Natur zwar nicht in großen Mengen, jedoch allgemein verbreitet vor. Im gediegenen Zustande wird es nie gefunden, sondern als Titansäure, entweder rein, nur wenig Eisenoxyd enthaltend, als Rutil, Anatas und Brookit, oder in Verbindung mit Kalk (Perowskit CaO, TiO_2) oder Kieselsäure als Titanit-Sphen ($3 CaO + SiO_3 + (3 TiO_2 + SiO_3)$). Außerdem kommt die Titansäure noch im Aeschnit vor, der eine sehr complicirte und merkwürdige Zusammensetzung besitzt. Unter dem Namen Titaneisen faßt man verschiedene Mineralien zusammen, die entweder Titansäure oder Titanoxyd enthalten. Ueberhaupt scheint das Titan ein beständiger Begleiter des Eisens zu sein. Die blaue Farbe vieler Hohofenschlacken schreibt man dem Titan zu. Schon 1757 beobachtete Grignon in Eisenhohofenschlacken kleine Würfel, die er jedoch, da das Titan damals noch nicht bekannt war, für Schwefeleisen hielt. Wollaston

machte 1822 von Neuem auf diese kupferrothen, stark metallisch glänzenden Würfel aufmerksam und nun wurden sie sowohl in Hohofenschladen als auch in den in dem Gestell der Hohöfen befindlichen Eisenmassen, der sogenannten Sau, häufiger gefunden, mitunter in beträchtlichen Mengen. So berichtet z. B. Nöggerath über eine solche Ausscheidung, die ein Gewicht von über sechs Unzen besaß und dabei augenscheinlich nur ein Stück von einem größeren Ganzen war. Nach Wollaston hielt man diese Würfel lange Zeit für metallisches Titan, bis Wöhler neuerdings dieselben als eine Verbindung von Stickstofftitan mit Titancyanür ($3 \text{Ti}^3 \text{N} + \text{TiC}^2 \text{N}$) erkannte.

Geringe Mengen von Titan sind auch in verschiedenen Glimmern gefunden worden. Nach Salm-Horstmar *) bildet das Titan einen sehr verbreiteten Bodenbestandtheil, der bisher bei den Analysen ganz übersehen worden ist. Adersholdt entdeckte in der Asche von Lycopodium Chamaecyparissus einen, wenn auch geringen, doch unverkennbaren Titangehalt. Smith fand den Smirgel an allen Fundorten von Kleinasen von Titaneisen begleitet.

1789 entdeckte Gregor in einem bei Menaphau in Cornwall vorkommenden Mineral ein neues Metall, dem Kirwan von dem Fundorte den Namen Menachine gab. 1795 untersuchte Klaproth den Rutil und fand hierbei gleichfalls ein neues Metall, dem er den Namen Titan beilegte. 1797 that Klaproth dar, daß das Titan mit dem von Gregor entdeckten Metall identisch sei. Durch die späteren Untersuchungen von H. Rose sind unsere Kenntnisse über das Titan und seine Verbindungen sehr erweitert worden.

Reines metallisches Titan erhält man nach Berzelius durch Erhitzen von Kaliumtitanfluorür mit Kalium als ein schwarzgraues, nicht krystallinisches Pulver. An der Luft erhitzt verbrennt es unter lebhaftem Funkensprühen zu Titansäure. Erhitzt man Titan mit Blei- oder Kupferoxyd, so tritt eine glänzende Feuererscheinung ein, wobei die Masse oft weit umhergeschleudert wird; das Titan verwandelt sich hierbei in Titansäure. Durch Salpetersäure und Königswasser wird das Titan gleichfalls zu Titansäure oxydirt. Bei Rothglühbige zerseht das metallische Titan das Wasser sehr leicht. Bei den von Desprez mit Hülfe einer Batterie von 500 Bunsen'schen Elementen angestellten Versuchen über die Schmelzbarkeit und Verflüchtigung der Körper **) verflüchtigte sich eine bedeutende Menge Titan. Das in dem Tiegel zurückbleibende Titan war zusammengeschmolzen. Beim Schneiden zeigte sich die wahre Farbe des Metalles etwas blasser als Gold. Das Titan ist weniger hart als Wolfram; Quarz und Zirkon wurden jedoch davon angegriffen. Es besitzt etwa den Härtegrad des Korund.

Von den Verbindungen des Titans mit Sauerstoff führen wir das Titanoxyd ($\text{Ti}^2 \text{O}^3$) und die Titansäure (TiO^2) an. Das erstere erhält man, wenn man über die letztere in hoher Temperatur Wasserstoffgas leitet. Es besitzt eine schwarze Farbe, wird von Salpetersäure und Chlornasserstoffsäure nicht angegriffen, von Schwefelsäure aber, wenn auch schwierig, zu einer violetten Flüssigkeit aufgelöst. Durch Glühen beim Zutritt der Luft wird das Titanoxyd nur äußerst schwierig und stets unvollständig in Titansäure verwandelt. — Auch aus der entsprechenden Chlorverbindung kann man Titanoxyd erhalten. Gießt man in die Lösung der

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LIV. S. 129.

**) Compt. rend. T. XXIX. p. 545.

ersteren Ammoniak, so entsteht ein brauner Niederschlag — das Hydrat des Oxydes. Uebergießt man das Hydrat mit Wasser, so verändert sich die Farbe nach einiger Zeit in Braun, dann in Blau und zuletzt resultirt weiße Titansäure; gleichzeitig entwickelt sich Wasserstoffgas.

Wichtiger als das Titanoxyd ist die Titansäure. Sie findet sich zwar in der Natur, aber nicht durchaus rein. Um die geringen Mengen des beigemischten Eisens fortzuschaffen, hat Wöhler ein einfaches Verfahren aufgefunden *). Man schmilzt sehr fein geriebenen Rutil mit dem doppelten Gewicht kohlensauren Kalis zusammen und löst dann die gepulverte Masse in verdünnter Flußsäure auf. Aus der helisen Lösung des sich hierbei bildenden, durch Auflösen in heißem Wasser gereinigten Fluortitanalkaliums wird durch Ammoniak schneeweißes, auch beim Uebergießen mit Schwefelammonium weiß bleibendes titansaures Ammoniak gefällt. Beim Glühen desselben geht das Ammoniak fort, so daß reine Titansäure zurückbleibt. Diese Vorschrift eignet sich auch zur Darstellung der Titansäure aus dem Titanisen. Bei der Behandlung der geschmolzenen Masse mit verdünnter Flußsäure, bleibe der größte Theil des Eisenoxydes zurück.

Die Titansäure ist nicht schmelzbar; bei einer sehr bedeutenden Hitze flutert sie aber etwas zusammen und verliert dadurch die geringe Auflösungsfähigkeit in Säuren. Erst nach längerer Digestion mit concentrirter Schwefelsäure oder durch Schmelzen mit doppeltschwefelsaurem Kali wird sie wieder in die lösliche Modifikation übergeführt. Die Lösung der Titansäure in Säuren wird durch Zusatz von vielem Wasser nicht getrübt; kocht man sie aber, so scheidet sich die Titansäure ab. Durch Alkalien wird die Titansäure aus der Lösung in Säuren als Hydrat gefällt, das zwar in Wasser und Alkohol unlöslich, aber in Säuren leicht löslich, sobald beim Trocknen desselben keine Wärme verwendet worden ist.

Wieland hat bei seinen Versuchen über Darstellung von Krystallen auf trockenem Wege **) durch Erhitzen einer Mischung von Titansäure und phosphorsaurem Natronammoniak durchsichtige goldgelbe Krystalle der Titansäure in der Form des Rutils bis zu 1 Centimeter Länge erhalten. Später stellte er auch auf einem anderen Wege ***) rothe durchsichtige Krystalle der Titansäure in der Form des Rutils und Krystalle von titansaurem Kali in der Form des Perowskits dar.

Schmilzt man Titansäure mit kohlensaurem Kali oder Natron, so bildet sich ein neutrales Salz, das beim Erkalten eine krystallinische Structur annimmt. Durch Wasser aber wird es zerlegt; der Rückstand enthält einen großen Ueberfluß an Titansäure, während sich in der alkalischen Flüssigkeit sehr wenig davon findet. Schmilzt man dagegen die Titansäure mit festem Kalihydrat, so ist in der Lösung viel von der ersteren enthalten. — Die titansauren Salze sind im fein zertheilten Zustande in concentrirter Chlornasserstoffsäure löslich; doch darf bei der Lösung keine bedeutende Wärme angewendet werden, weil sich dann die Titansäure abscheidet.

Von den Verbindungen des Titan mit Chlor kennt man zwei, welche den Sauerstoffverbindungen entsprechen. Das Chlorür $Ti^2 Cl^2$ bildet dunkelviolette Schuppen, die einen starken Glanz besitzen und sich im Wasser unter Erhitzen

*) Nachrichten d. Gesellsch. d. Wissensch. zu Göttingen. Decbr. 1840. S. 169.

**) Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. XXXIII. p. 34.

***) Compt. rend. T. XXXII. p. 710.

lösen. An der Luft entfärbt sich die Lösung, wobei sich Titansäure niederschlägt. Bei gewöhnlicher Temperatur verwandelt sich das Chlorür gleichfalls mit der Zeit in Titansäure, schneller aber beim Erwärmen, wobei sich Dämpfe von Titanchlorid entwickeln. Die Auflösung des Chlorürs in Wasser ist eines der energichsten Reductionsmittel. Das Chlorür ist zwar flüchtig, aber weniger leicht als das Chlorid $TiCl_3$, eine farblose Flüssigkeit, die an der Luft stark raucht.

Leitet man durch ein bis zum Glühen erhitztes Rohr Schwefelwasserstoffgas und die Dämpfe von Titanchlorid, so bildet sich Schwefeltitan TiS_2 , das im Aeußeren große Aehnlichkeit mit dem Zinnsulfid (Muffsgold) hat. Mit dem Stickstoff verbindet sich das Titan in verschiedenen Verhältnissen. Von der wichtigsten dieser Verbindungen haben wir bereits oben gesprochen. Nach neueren Untersuchungen von Deville und Wöhler *) besteht zwischen dem Titan und Stickstoff eine unerwartet große Affinität. Jenes Metall vermag sich, wenigstens im Trennungszustande, unmittelbar mit dem Stickstoff der atmosphärischen Luft zu verbinden, so daß nichts schwieriger ist als die Darstellung eines durchaus stickstofffreien Titan. Die Körper von kupferrother oder messinggelber Farbe, die bei den früheren Reductionsversuchen als metallisches Titan angesehen wurden, waren in der That Stickstoftitan. Während sonst in der Regel der Sauerstoff sich am kräftigsten der Erhaltung vieler Grundstoffe in ihrem Elementarzustande widersetzt, ist es bei dem Titan, wenigstens bei höherer Temperatur, ausnahmsweise der Stickstoff, der sich gemeinhin ziemlich indifferent gegen die übrigen Elemente verhält. Im reinen Zustande kann man das Titan mit Sicherheit nur erhalten, wenn man in ein Rohr von Porzellan oder böhmischem Glas, aus welchem die Luft vollständig durch Wasserstoffgas vertrieben worden ist, zwei Schiffehen einbringt, das eine gefüllt mit Fluortitankalium, das andere mit Natrium und diese allmählig zum Glühen erhitzt, während man einen Strom von getrocknetem und völlig luftfreiem Wasserstoffgase durch das Rohr gehen läßt, so daß das Natrium dampfförmig zu dem Titanalze geführt wird. Nach dem Erkalten wird die Masse mit vielem warmen Wasser behandelt. Nimmt man die Reduction der Titansäure mittelst Kohle in einem gewöhnlichen Schmelztiegel, der mit Kohle ausgekleidet ist, vor, so erhält man gleichfalls Stickstoftitan, weil der Stickstoff mit Leichtigkeit durch den Tiegel hindurchdringt, während der Tiegel für den Sauerstoff der Ofenluft völlig undurchdringlich ist.

Obgleich die Verbindungen des Titans denen des Zinns sehr ähnlich sind, so kann man beide doch sehr leicht von einander unterscheiden. Die Titanverbindungen geben dem Phosphorsalz in der inneren Löthrohrflamme eine violette Färbung, die erst beim Erkalten deutlich hervortritt. Ist Eisen zugegen, so tritt eine braune oder blutrothe Färbung ein. Behandelt man ein solches Glas auf Kohle mit metallischem Zinn, so kann man oft die violette Farbe hervorbringen. Auf nassem Wege ist die Titansäure dadurch zu erkennen, daß metallisches Zink nach einiger Zeit in der sauren Lösung eine blaue Färbung und einen blauen Niederschlag bewirkt. Ebenso charakteristisch ist das Verhalten gegen Galläpfeltinctur, die in den sauren Lösungen der Titansäure einen Niederschlag hervorbringt, der anfangs bräunlich erscheint, aber nach kurzer Zeit bläsporaniroth wird.

W. W.

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. CIII. S. 230.

Ton wird jeder durch eine gewisse Gleichartigkeit und Regelmäßigkeit charakterisirte Schall (s. Art. Schall, Bd. V. S. 697) genannt, wenn man dabei auf das mit Höhe und Tiefe bezeichnete Eigenthümliche desselben sieht, während man ohne diese Rücksicht den durch gleichartige und regelmäßige Erzitterungen entstandenen Schall nur als Klang bezeichnet.

Ueber die Entstehung des Schalles, mithin auch des Tones, handelt der Art. Schall. Es sei hier nur wiederholend bemerkt, daß dieselbe auf einer vibrirenden Bewegung der Massentheilehen der schallerregenden Körper beruht, die sich durch ein schallleitendes Medium bis zu unserem Gehörorgane fortpflanzen. Wegen der Art der Bewegung müssen wir hier auf Art. Wellenbewegung verweisen.

Die Höhe oder Tiefe eines Tones läßt sich für dasselbe leitende Mittel auf doppelte Weise absolut bezeichnen: geometrisch durch eine gerade Linie, deren Länge der Länge der Schallwelle gleich ist; arithmetisch durch die Zahl der Wellen, welche in einer Secunde durch einen gegebenen Punkt hindurchgehen. Die letztere Bestimmungsweise verdient den Vorzug, weil sie die absolute Höhe des Tones unabhängig von dem leitenden Mittel angiebt, und ist überhaupt der Sache angemessener, da sie auf directe Verhältnisse führt und den höheren Ton durch eine größere Schwingungszahl ausdrückt, insofern es doch die schnellere oder langsamere Folge der Impulse, welche das Ohr empfängt, ist, von welcher die Höhe eines Tones unmittelbar abhängt.

In der atmosphärischen Luft, dem gewöhnlichen Medium, durch welches die Schallwellen zu unserem Gehörorgane gelangen, beträgt die Schallgeschwindigkeit (s. Schall) für irgend eine Temperatur t nach der hunderttheiligen Scala, wenn a den Ausdehnungscoefficienten der Luft für 1° C. Temperaturveränderung bezeichnet:

$$332^{\text{m}},25 \sqrt{1 + at}.$$

Setzen wir dafür im Mittel 1024 Pariser Fuß, und rechnen wir eine Welle zu 2 Fuß Länge, so ist klar, daß auf einer Strecke von 1024' solcher Wellen 512 Platz finden; geben nun in einer Secunde 512 solcher Wellen an unserem Ohre vorüber, so erhält dasselbe auch in dieser Zeit 512 Impulse. Diese Impulse aber erregen eben die Empfindung eines gewissen Tones.

Wenn man eine Saite anschlägt, die auf irgend ein Instrument, wie eine Harfe, Geige, Guitarre oder besser Monochord (s. Art. Monochord, Bd. IV. S. 1120) gespannt ist, so sind die Schwingungen, welche sie macht, viel zu schnell, um die absolute Zahl dieser Schwingungen bestimmen zu können. Man kann jedoch mit hinlänglicher Genauigkeit zwei bemerkenswerthe Erscheinungen unterscheiden: erstens der Ton steigt und wird höher, sobald man die Saite verkürzt oder ihr eine stärkere Spannung giebt, und zweitens die Anzahl der Schwingungen nimmt merklich zu. Es findet also eine gewisse Abhängigkeit zwischen dem Tone der Saite, ihrer Länge, ihrer Spannung und der Geschwindigkeit ihrer Schwingungen statt. Diese durch den Versuch leicht zu ermittelnde Abhängigkeit aus der Theorie zu entwickeln, bietet in voller Schärfe manche Schwierigkeiten dar. Newton und Taylor waren die ersten, welche die mechanische Theorie tönender Schwingungen festzustellen suchten, ein Problem, welches fast ein halbes Jahrhundert lang die lebhaftesten Erörterungen zwischen den größten Geometern veranlaßte. Wir nennen insbesondere als dabei betheiligt: Johann Ber-

nouilli, d'Alembert, Euler, Daniel Bernouilli, Lagrange und Fourier, den letzteren namentlich wegen seiner allgemeinen Beweisführung für die Entwicklung willkürlicher Functionen in Sinus- und Cosinusreihen, indem es keinem Zweifel unterliegt, daß jede tönende Bewegung durch solche Reihen dargestellt werden kann. Jetzt kann dieser Gegenstand von der mathematisch-mechanischen Seite, welche bei diesen Untersuchungen allein in Betracht kam, als erledigt angesehen werden. Diese mathematische Entwicklung hier zu liefern, würde uns zu weit führen; wir verweisen deshalb auf den Supplementband zu Baumgartner's Naturlehre, Wien 1831, namentlich S. 358, 193, 353, und begnügen uns in einer Anmerkung mit einer elementaren Entwicklung der für gespannte Saiten aus demselben Stoffe geltenden Gesetze, nämlich:

- 1) daß bei gleicher Dicke und Länge der Saiten die Schwingungszahlen sich verhalten wie die Quadratwurzeln aus den sie spannenden Kräften;
- 2) daß bei gleicher Länge und gleicher Stärke der spannenden Kräfte die Schwingungszahlen im umgekehrten Verhältnisse der Durchmesser der Saiten stehen;
- 3) daß bei gleicher Dicke und bei gleicher Stärke der spannenden Kräfte die Schwingungszahlen sich umgekehrt wie die Saitenlängen verhalten, und also
- 4) daß allgemein die Schwingungszahlen gespannter Saiten sich direct wie die Quadratwurzeln aus den spannenden Kräften und umgekehrt wie die Durchmesser und die Längen der Saiten verhalten *).

*) Durch die Elasticität wird eine aus ihrer Gleichgewichtslage gebrachte gespannte Saite eben so in eine hin- und hergehende Bewegung (Schwingung) versetzt, wie ein Pendel durch die Kraft der Schwere. Da nun diese Schwingungen nur innerhalb der Elasticitätsgrenze (s. Art. Elasticität, Bd. II, S. 684) stattfinden, so kann man statt der Elasticität die spannende Kraft, welche durch ein bekanntes Gewicht gemessen werden mag, setzen (ebenda S. 688). Im Art. Pendel (Bd. V, S. 163) ist der Nachweis geliefert, daß die Schwingungszeiten desselben Pendels bei verschiedenen Intensitäten der Schwere sich umgekehrt, wie die Quadratwurzeln aus diesen Intensitäten der Schwere verhalten. Wenden wir dies Gesetz auf den vorliegenden Fall an und bedenken wir, daß sich die Schwingungszahlen umgekehrt wie die Schwingungszeiten verhalten müssen; so heißt dies nichts Anderes, als die Schwingungszahlen zweier gespannter Saiten von sonst gleicher Beschaffenheit, aber von verschieden starken Kräften gespannt, verhalten sich gerade wie die Quadratwurzeln aus den spannenden Kräften, d. h. wenn $L = l$ und $D = d$ ist,

$$N : n = \sqrt{P} : \sqrt{p} (1)$$

Nehmen wir zwei von gleich starken Kräften gespannte gleich lange Saiten aus demselben Materiale an, deren Durchmesser jedoch verschieden ist, so läßt sich die stärkere als ein Aggregat von Saiten der schwächeren Sorte ansehen: ist der Durchmesser der stärkeren Saite m mal größer, als der der schwächeren, so kann man für jene m^2 Saiten dieser Sorte setzen, da sich die Massen wie $m^2 : 1$ verhalten. Die spannende Kraft wirkt auf jede der m^2 Saiten, welche in der stärkeren enthalten gedacht werden, mit m^2 mal geringerer Stärke, folglich steht die Schwingungszahl dieser einzeln gedachten Saiten und mithin auch der ganzen starken Saite nach (1) zu der Schwingungszahl der schwächeren Saite in dem Verhältnisse von

$$\sqrt{\frac{P}{m^2}} : \sqrt{P}, \text{ oder } \sqrt{1} : \sqrt{m^2}, \text{ oder } 1 : m, \text{ d. h. wenn } L = l, P = p \text{ und } D = m d \text{ ist,}$$

$$N : n = d : D (2)$$

Nennen wir die Schwingungszahl einer Saite N , ihre Länge L , ihren Durchmesser D und ihre spannende Kraft P , und bei einer anderen dieselben Größen n , l , d und p ; so gelten folgende Proportionen:

$$\text{Wenn } D = d \text{ und } L = l \text{ ist, so ist: } N : n = \sqrt{P} : \sqrt{p} \dots (1)$$

$$\text{Wenn } L = l \text{ und } P = p \text{ ist, so ist: } N : n = d : D \dots (2)$$

$$\text{Wenn } D = d \text{ und } P = p \text{ ist, so ist: } N : n = l : L \dots (3)$$

$$\text{Allgemein ist: } N : n = \frac{\sqrt{P}}{DL} : \frac{\sqrt{p}}{dl} \dots (4)$$

Zu diesen sich auf Saiten von demselben Stoffe beziehenden Gesetzen fügen wir noch folgendes, die Schwingungen von Saiten aus verschiedenem Stoffe ausdrückendes Gesetz hinzu:

- 5) Die Schwingungszahlen von Saiten aus verschiedenem Stoffe verhalten sich unter sonst gleichen Verhältnissen umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus der relativen Dichte, d. h. wenn man z. B. eine Saite von Kupfer nimmt, deren Dichte neunmal größer ist, als die einer Darmsaite, so ist die Anzahl der Schwingungen der Kupfersaite dreimal kleiner als bei der Darmsaite, sofern beide gleich dick sind, gleiche Länge und gleiche Spannung haben.

Denken wir uns zwei mit Ausnahme der Länge ganz gleiche Saiten a und b , so würde, wenn man ihre Masse unberücksichtigt lassen dürfte, wie bei Pendeln (Art. Pendel, Bd. V. S. 163), die Proportion gelten $N : n = \sqrt{l} : \sqrt{L}$. Um den Einfluß der Masse in Rechnung zu bringen, seien noch zwei andere Saiten c und d außer den Saiten a und b , für welche a) N , L und M , eben so b) n , l , m die Schwingungszahl, Länge und Masse bezeichnen, angenommen und zwar die eine c mit der Schwingungszahl x , Länge L und Masse 1, die andere d mit der Schwingungszahl y , Länge l und Masse 1; so erhalten wir folgende Proportionen:

Da sich die Massen bei gleicher Länge wie die Quadrate der Durchmesser verhalten, so gilt für die Saiten a und c nach (2)

$$N : x = 1 : \sqrt{M}, \text{ ferner aus } c \text{ und } d \text{ nach dem}$$

$$\text{Pendelgesetz} \quad x : y = \sqrt{l} : \sqrt{L}, \text{ endlich aus } b \text{ und } d \text{ nach (2)}$$

$$y : n = \sqrt{m} : 1.$$

Durch Zusammensetzung dieser Proportionen erhält man also: $N : n = \sqrt{lm} : \sqrt{LM}$. Da jedoch bei gleicher Dicke sich die cylindrischen Massen wie ihre Längen verhalten, so kann man statt des Verhältnisses $\sqrt{m} : \sqrt{M}$ auch das Verhältniß $\sqrt{l} : \sqrt{L}$ setzen, und man erhält somit

$$N : n = \sqrt{l^2} : \sqrt{L^2} \text{ oder}$$

$$N : n = l : L \dots (3)$$

Sind die Saiten a und b ganz beliebig in Betreff der spannenden Kraft, Länge und Dicke, und gelten folgende Bezeichnungen:

$$\text{für } a \quad N, L, D, P,$$

$$\text{für } b \quad n, l, d, p,$$

$$\text{ferner für eine Saite } c \quad x, L, D, p$$

$$\text{und für eine Saite } d \quad y, l, d, p;$$

$$\text{so folgt für } a \text{ und } c \text{ aus (1) } N : x = \sqrt{P} : \sqrt{p}$$

$$\text{für } c \text{ und } d \text{ aus (2) } x : y = d : D$$

$$\text{für } b \text{ und } d \text{ aus (3) } y : n = l : L.$$

Durch Zusammensetzung dieser Proportionen erhalten wir die allgemeine Proportion:

$$N : n = \frac{\sqrt{P}}{DL} : \frac{\sqrt{p}}{dl} \dots (4)$$

Die angegebenen Gesetze, welche man mittelst des Monochordes (s. d. Artikel) der Prüfung unterwirft, finden offenbar nur Geltung bei Saiten, welche in ihrer Länge und ihrer Dicke durchaus homogen sind, und lassen sich z. B. keineswegs auf Darmsaiten, die mit Metalldraht übersponnen sind, anwenden, wie man sich derselben bei der Harfe und verschiedenen Streichinstrumenten bedient. Das einschließende Metall ist hier eine todte Masse, welche durch die Elasticität der Saiten mit in Bewegung gesetzt werden muß, und folglich die Schwingungszeit vergrößert.

Nach Verschiedenheit der Schwingungszahlen haben die Töne eine verschiedene Höhe. Da nun die Schwingungszahl von der Länge der gespannten Saite abhängt, so kann man durch allmälige Verkürzung derselben eine große Anzahl verschiedener Töne hervorbringen. Das Verhältniß zweier Töne nach Höhe oder Tiefe nennt man ihr Intervall oder ihr Tonverhältniß. Gewöhnlich faßt man ein Intervall als *aufsteigend* auf, d. h. so als ob der tiefere Ton die Grundlage bilde oder vorangehe und der höhere auf ihn bezogen werde oder ihm folge. Soll ein Intervall *absteigend* genommen werden, d. h. soll der höhere Ton vorangehen, so ist dies besonders anzuzeigen. Da wir nun die Höhe oder Tiefe, wie bereits bemerkt ist, nach der Anzahl der Schallwellen in einer Secunde bestimmen, so drückt ein Intervall aus, wie viel Schallwellen dem höheren Tone in der Zeit zukommen, in welcher der niedere deren eine einzige macht.

Von den vielen Tönen, welche eine gespannte Saite geben kann (wobei es auf den Ton, welchen die ganze Saite giebt, gar nicht ankommt), sind für die Tonkunst nur diejenigen brauchbar, welche nicht nur in ihrer Aufeinanderfolge, sondern auch bei ihrer Verbindung zu Accorden in dem musikalischen Ohre eine angenehme Wirkung hervorbringen. Selbst das ungeübte Ohr empfindet bei dem Zusammenklingen oder der Folge gewisser Töne ein eigenthümliches Wohlgefallen, vermöge dessen es sich beruhigt oder befriedigt fühlt. Solche Töne, die in ihrer Aufeinanderfolge oder bei ihrem Zusammenklingen einen angenehmen Eindruck hervorbringen, nennt man *consonirende*, im Gegensatz zu den *dissonirenden*, die gewissermaßen als nicht zusammenpassend empfunden werden. Die Intervalle der consonirenden Töne nennt man *Consonanzen*, diejenigen der dissonirenden hingegen *Dissonanzen*.

Die Consonanzen zu ermitteln bietet sich ein doppelter Weg dar. Man könnte auf dem Monochord eine Saite ihrer ganzen Länge nach erst schwingen lassen und sie dann durch einen untergefügten verschiebbaren Steg, ohne ihre Spannung zu verändern, so lange verkürzen, bis man zu den mit dem Tone der ganzen Saite consonirenden Tönen gelangt. Dann würde man finden, daß die halbe Saite denselben Ton, wie der Grundton ist, giebt, nur daß er höher ist. Der neue Ton ist die *Octave* des Grundtons und ihr Intervall gleich $2 : 1$. Eine Verkürzung der Saite bis auf $\frac{2}{3}$ der Länge würde eine Consonanz geben, die wir die *Quinte* des Grundtones nennen, und deren Intervall $\frac{3}{2} : 1$ ist. Nimmt man $\frac{3}{4}$ der Saitenlänge, so erhält man wieder eine Consonanz, die sogenannte *Quarte*, mit dem Intervalle $\frac{4}{3} : 1$ u. s. f.

Oder man könnte den experimentellen Weg verlassen und davon ausgehen, daß die Consonanzen und Dissonanzen auf einem allgemein gültigen, physischen und wohl auch psychischen Grunde beruhen müssen, wofür das Unwillkürliche des Wohlgefallens und Mißfallens spricht. Auf diesem Wege würde man die consoni-

renden Intervalle rein theoretisch bestimmen und das Experiment käme nur der Bestätigung halber hinzu. Dieser Weg empfiehlt sich für uns besonders darum, weil er uns gleich das Innerliche der Tonverhältnisse erkennen läßt. Es liegt hier nun nahe, daß das Wohlgefallen, welches consonirende Töne erregen, zunächst in einer Einfachheit der Schwingungsverhältnisse, also in einer gewissen Einfachheit der Intervalle begründet sei *).

Das einfachste Verhältniß ist das von 1 zu 1. Diesem entspricht der Einklang.

Nächst diesem ist das Verhältniß 1 zu 2, welches von der ganzen und halben Saite gegeben wird, das einfachste. Einer Schwingung der ganzen Saite entsprechen genau 2 Schwingungen der halben. Jedem Impulse, den jene, als die tiefere, der Luft giebt, entsprechen zwei Schwingungen dieser, als der höheren, so daß nach Beendigung einer Doppelschwingung jener die Impulse übereinstimmig sind, nach Beendigung einer einfachen aber widerstimmig. Dieses genau abwechselnde Zusammentreffen der gleichnamigen Impulse giebt die Octave. Die Erfahrung lehrt, daß der Grundton und die Octave einander so ähnlich sind, daß man den einen als die Wiederholung des anderen, nur auf einer anderen Stufe, ansehen kann. Daraus folgt, daß im Tonverhältnisse nichts geändert wird, wenn man den einen oder den anderen darin enthaltenen Ton um eine oder mehrere Octaven höher oder tiefer setzt, daß daher die Octave als die Grenze aller Intervalle angesehen werden kann, und daß sich alle Intervalle durch unächte Brüche, die zwischen 1 und 2 liegen, darstellen lassen.

Wir kommen zu den nächst einfachen Verhältnissen 1 zu 3 und 2 zu 3. Seht man in dem Verhältnisse 1 zu 3 den tieferen Ton um eine Octave höher, was man, wie so eben bemerkt worden ist, thun darf, so erhalten wir das Verhältniß 2 zu 3 oder 1 zu $\frac{3}{2}$. Dies Verhältniß wird die Quinte genannt, und ist, wie auch die Erfahrung lehrt, nächst der Octave die vollkommenste Consonanz. Selbst unmusikalische Ohren erkennen das Intervall als consonirend.

*) Diesen Weg hat unter andern H. W. Brandes in seinen Vorlesungen über die Naturlehre Bd. I. S. 298 eingeschlagen, und auch J. G. Grassmann hat davon ausgehend in einer Abhandlung: Zur Akustik, Stettin 1837 in dem Gymnasial-Programme interessante Beziehungen daran geknüpft. — Schon Hieronym. Cardanus sagt in seinem Buche de subtilis. rerum. T. XIII. p. 572—574: „Rechtwändig ist, daß bei aller Verschiedenheit, welche unter den Menschen in Rücksicht ihrer Sprachen, Sitten u. herrscht, nur in Rücksicht der Töne überall dieselben für harmonisch und melodisch gehalten werden; denn überall werden die Octave, die Quarte, die Quinte für harmonisch gehalten, weil ihr Verhältniß sehr einfach und leicht bemerkbar ist. Dagegen beleidigen verwickelte Intervalle der Töne das Ohr. Die Ursache dieser Erscheinung liegt darin, daß alles Vergnügen aus der Musik in einem reinen und bloßen Verhältniß der Intervalle besteht, welche nach einer zweckmäßigen Ordnung abwechselnd auf einander folgen und sich ohne Mühe gleichsam spielend von jedem gesunden Ohre wahrnehmen lassen.“ Vergl. Rixner und Siber, Leben und Lehrmeinungen berühmter Physiker. Salzburg 1820. Bd. II. S. 218. — Manches Treffende sagt in dieser Beziehung auch Leibniz (epist. ad diversos 1. ep. p. 134). — Da jeder Ton aus einer Reihe von Impulsen besteht, gemäß der Anzahl der Schwingungen, durch welche er erzeugt wird, so können, wenn zwei oder mehrere Töne dem Gehörorgan gleichzeitig gegeben werden, die Impulse des einen Tones theilweise mit dem des andern zusammenfallen, theilweise aber auch zwischen die Impulse des andern Tones fallen, so daß in dieser Beziehung mancherlei Verhältnisse eintreten können, die gewiß von Bedeutung sind für die Bildung der Consonanzen und Dissonanzen.

Die beiden Verhältnisse 1 zu 3 und 2 zu 3 reduciren sich also auf das eine 2 zu 3.

Schreiten wir fort zu den nächst einfachsten Verhältnissen, also zu denen mit 4; so ist sofort klar, daß kein neues Intervall gewonnen wird durch das Verhältniß 1 zu 4; denn dies giebt die Octave von der Octave ober die Doppelloctave. Eben so ist 2 zu 4 die einfache Octave. Das Verhältniß 3 zu 4 ist jedoch neu, wiewohl es nur die Umkehrung der Quinte ist. Setzen wir nämlich in dem Verhältnisse 2 zu 3 den Grundton, der im Verhältnisse 1 zu 3 enthalten ist, um 2 Octaven höher, so erhalten wir das Verhältniß 4 : 3 oder aufsteigend 3 zu 4 oder 1 zu $\frac{4}{3}$. Dies die Quinte zu ihrer Octave ergänzende Verhältniß ist die Quarte.

Von den Verhältnissen mit 5 sind die 1 zu 5, 2 zu 5 und 4 zu 5 unter sich nicht verschieden, da 1, 2 und 4 als Octaven zu einander stehen. Es bleiben also nur die Verhältnisse 3 zu 5 und 5 zu 3 als neue Intervalle übrig. Das Verhältniß 4 zu 5 oder 1 zu $\frac{5}{4}$ giebt die große Terz; das 3 zu 5 oder 1 zu $\frac{3}{5}$ die große Sexte.

Die Verhältnisse 1 zu 6, 2 zu 6, 4 zu 6 sind keine anderen als die Quinte; 3 zu 6 drückt die Octave aus; 5 zu 6 ist die Ergänzung der großen Sexte zur Octave, indem man in dem Verhältnisse 3 zu 5 statt des tieferen Tones die höhere Octave setzt und das Verhältniß umkehrt. Das Verhältniß 5 zu 6 oder 1 zu $\frac{6}{5}$ ist die kleine Terz.

Diejenigen Verhältnisse, in deren Ausdruck die Zahl 7 mit vorkommt, scheinen an der Grenze der Consonanzen und Dissonanzen zu stehen. Höhere Primzahlen geben ganz entschieden Dissonanzen:

Die Verhältnisse mit 8 bieten nichts Neues, da die mit 1, 2 und 4 auf die Octave, die mit 3 und 6 auf die Quarte sich zurückführen lassen; nur 5 zu 8 macht sich als Umkehrung von 4 zu 5 oder als Ergänzung dieses Intervalles zur Octave geltend. Das Verhältniß 5 zu 8 oder 1 zu $\frac{8}{5}$ giebt die kleine Sexte.

So wie die Verhältnisse mit 4, oder 6, oder 8 auf keine neuen Intervalle führten, indem die Verhältnisse 3 zu 4, 5 zu 6 und 5 zu 8 nur als Ergänzungen schon aufgefundenen Verhältnisse zur Octave sich herausstellten, die anderen aber schon dagewesen waren; so gilt dies überhaupt von den Verhältnissen mit geraden Zahlen. Die consonirenden Intervalle sind somit in den eben gefundenen erschöpft, wie dies auch die Erfahrung bestätigt.

Ordnen wir die erhaltenen sämtlichen consonirenden Intervalle nach ihrem größeren oder geringeren Abstände von dem Grundtone und bezeichnen wir dieselben mit der Schwingungszahl 1; so erhalten wir:

G, 1, T, q, Q, s, S, O.

1, $\frac{3}{2}$, $\frac{4}{3}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{3}$, $\frac{5}{4}$, 2.

Zu bemerken ist hierbei, daß alle diese Intervalle nur zu dem Grundtone consonirend sind, daß damit aber keineswegs ihre Consonanz unter sich behauptet wird. Alle diese Intervalle sind in eine und dieselbe Octave versetzt; die Octave ist nur die Wiederholung des Grundtones. Innerhalb einer Octave giebt es mithin nur 6 mit dem Grundtone consonirende Intervalle.

Lassen wir die drei Töne G, 1 und Q, ein anderes Mal die drei Töne G, T und Q auf einander folgen, so markirt sich zwischen diesen Dreiklängen ein eigentümlicher Unterschied, der, wie wir bald sehen werden, sich als moll und dur

Tonart charakterisirt. Fassen wir daher die obigen Töne zunächst mit Weglassung von *t* und dem ebenfalls zu dem Grundtone in einem durch 5 ausgedrückten Verhältnisse stehenden Tone *s* auf und versuchen wir die Anzahl der Töne innerhalb der Octave zu vervollständigen.

Aus den gefundenen Verhältnissen folgt, daß die Töne gleichzeitig folgende Schwingungen machen:

G	T	q	Q	S	O
24	30	32	36	40	48

Soll *T* wiederum eine Quinte haben, so muß dies ein Ton sein, der 3 Schwingungen macht, wenn *T* deren 2 zurücklegt; folglich muß dieser Ton 45 Schwingungen machen, wenn *T* deren 30 zurücklegt. Dieser Ton würde zwischen *S* und *O* liegen, heißt die *Septime* des Grundtones und bildet mit diesem ein Intervall gleich 8 zu 15 oder $1 : \frac{15}{8}$. Auf denselben Ton kommen wir auch, wenn wir zu *Q* die große Terz suchen; denn dieser Ton muß 5 Schwingungen machen, wenn *Q* deren 4 zurücklegt, d. h. er muß 45 Schwingungen machen, wenn auf *Q* gleichzeitig 36 kommen. Wir haben also einen doppelten Grund diesen Ton, die *Septime*, in die Reihe der Töne, welche eine Octave enthalten muß, aufzunehmen: die große Terz erhält durch denselben ihre Quinte und die Quinte ihre große Terz.

Soll die Quinte *Q* wiederum eine Quinte haben, so muß dies ein Ton sein, der 54 Schwingungen macht, wenn *Q* 36 zurücklegt. Setzen wir diesen Ton, da er mehr als 48 Schwingungen macht, eine Octave niedriger, so erhalten wir einen Ton mit 27 Schwingungen, der also zwischen *G* und *T* liegt. Sein Intervall zum Grundton ist gleich 8 zu 9 oder $1 : \frac{9}{8}$ und er heißt die *Secunde*.

Die große Terz von *q* ist *S*, die Quinte *O*.

Setzen wir zu den obigen Tönen noch die Töne, welche zu dem Grundtone die Intervalle $1 : \frac{9}{8}$ und $1 : \frac{15}{8}$ haben, ein, so erhalten wir die sogenannte *Cdur-Tonleiter*, und bezeichnen wir die Töne in der gewohnten Weise, so ergeben sich folgende gleichzeitige Schwingungszahlen:

C	D	E	F	G	A	H	c
24	27	30	32	36	40	45	48

und die Intervalle zu dem Grundton *C* sind folgende:

C	D	E	F	G	A	H	c
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

Daß *D* und *H* zu *C* nicht consonirend sind, sei noch ausdrücklich hervorgehoben.

Suchen wir in dieser Tonleiter die Intervalle der auf einander folgenden Töne, so erhalten wir:

C	D	E	F	G	A	H	c
	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$

d. h. *D* macht 9 Schwingungen in derselben Zeit, in welcher *C* deren 8 zurücklegt; *E* 10, wenn *D* 9; *F* 16, wenn *E* 15 u. s. f.

Ein Intervall mit dem Verhältnisse $\frac{16}{15}$ ist nicht so verschieden, als ein solches mit dem Verhältnisse $\frac{9}{8}$ oder $\frac{10}{9}$. Man unterscheidet daher ganze und halbe Töne. Die Intervalle $\frac{9}{8}$ und $\frac{10}{9}$ sind ganze Töne und zwar ist das Intervall $\frac{9}{8}$ ein großer ganzer Ton und das $\frac{10}{9}$ ein kleiner ganzer Ton. Das Intervall $\frac{16}{15}$ ist ein halber Ton.

Unter den conjonirenden Intervallen fanden wir oben auch zwei Töne, die in dem Verhältnisse von $\frac{6}{5}$ und $\frac{8}{5}$ zu dem Grundtone standen und die wir als kleine Terz und kleine Sexte bezeichneten. Betrachten wir das Intervall von der kleinen Terz zu der großen Terz $\frac{6}{5}$ zu $\frac{5}{4}$, so erhalten wir 1 zu $\frac{25}{24}$; dasselbe Intervall zeigt sich von der kleinen Sexte zu der großen Sexte $\frac{8}{5}$ zu $\frac{5}{3}$. Dies Intervall $\frac{25}{24}$ nennt man auch einen halben Ton, und unterscheidet nun ebenfalls $\frac{16}{15}$ als großen und $\frac{25}{24}$ als kleinen halben Ton.

Betrachten wir den Unterschied zwischen dem großen und kleinen ganzen Tone näher, so finden wir, daß in derselben Zeit, in welcher der Grundton 72 Schwingungen macht, der im Verhältnisse eines großen ganzen Tones stehende Ton 81 und der im Verhältnisse eines kleinen ganzen Tones stehende Ton 80 Schwingungen zurücklegt. Ein geübtes Ohr kann zwischen Tönen, von denen der eine 81 Schwingungen in derselben Zeit macht, in welcher der andere deren 80 vollendet, allenfalls noch einen Unterschied wahrnehmen. Das Verhältniß 81 zu 80 nennt man ein Komma. Töne, die sich noch nicht um so viel, als ein Komma beträgt, von einander unterscheiden, betrachtet man als identisch. Zwischen dem großen und kleinen halben Tone ist der Unterschied bedeutender, als zwischen dem großen und kleinen ganzen Tone. Macht der eine Ton in derselben Zeit, in welcher der Grundton eine gewisse Anzahl Schwingungen zurücklegt, 10368 Schwingungen, so vollendet in derselben Zeit der Ton, welcher jenen Ton im Verhältnisse zum Grundtone als kleiner ganzer Ton vertreten würde, 10240 Schwingungen, der Ton aber, welcher jenen Ton im Verhältnisse eines kleinen halben Tones vertreten würde, nur 10125.

Bei der C dur-Tonleiter folgen erst zwei ganze Töne, dann ein halber Ton, hierauf drei ganze Töne und endlich noch ein halber Ton auf einander. Soll diese Tonleiter praktisch brauchbar sein, so muß jeder Ton derselben als Ausgangston, d. h. als Grundton, genommen werden können, und die auf einander folgenden Intervalle müssen noch dieselben, wie eben angegeben worden ist, sein. Versuchen wir G als Grundton anzunehmen, so folgen in der Octave

G A H c d e f g

erst zwei ganze Töne, dann ein halber Ton, hierauf 2 ganze Töne, dann ein halber und endlich noch ein ganzer Ton auf einander. Es stellt sich mithin die Nothwendigkeit heraus, aus dem Intervalle von e zu f einen ganzen Ton und aus dem Intervalle von f zu g einen halben Ton zu machen, d. h. den Ton f um einen halben Ton zu erhöhen. Diese Erhöhung um einen halben Ton bezeichnet man durch ein dem Tone vorgesetztes \sharp , und um den Ton als um einen halben Ton erhöht in der Sprache zu erkennen zu geben, hängt man dem ihm zukommenden Buchstaben noch is an. In unserem Falle würde also die G dur-Tonleiter die Umwandlung von f in fis verlangen.

G ist die Quinte von C und verlangt eine Erhöhung des Tones f um einen halben Ton. Die Quinte von G ist D und diese fordert als Grundton außer fis noch cis; die Quinte von D ist A und die A dur-Tonleiter fordert außer fis und cis noch gis; die Quinte von A ist E und die E dur-Tonleiter fordert noch dis; die Quinte von E ist H und fordert als Grundton noch ais; die Quinte von H ist Fis und würde als Grundton die Erhöhung eines sechsten Tones um einen halben Ton nothwendig machen, nämlich die des Tones C.

Gehen wir von C als Grundton in Quinten aufwärts, und nehmen diese

als Grundton an, so erfordert die erste Quinte von C ein Kreuz, die zweite zwei Kreuze u. s. f. Der um einen halben Ton zu erhöhende neue Ton liegt um einen halben Ton tiefer als der jedesmalige Grundton, oder besser ist die Quinte des zuletzt erhöhten Tones, so daß z. B., wenn bei D als Grundton noch eis einzuführen war, bei A als Grundton die Quinte von eis, also gis hinzukommt. Man nimmt nicht leicht einen Grundton, der mehr als fünf Kreuze erfordert.

Von C in Quinten aufsteigend, gelangt man nicht zu F, sondern nur zu G, D, A, E, H und dann zu Fis etc. Es fragt sich nun, was mit der Cdur-Tonleiter geschehen muß, um die Fdur-Tonleiter zu erhalten. In der Octave

F G A H c d e f

folgen erst drei ganze Töne, dann ein halber Ton, hierauf 2 ganze Töne und endlich ein halber Ton. Es stellt sich mithin die Nothwendigkeit heraus, aus dem Intervalle von A zu H einen halben und aus dem Intervalle von H zu c einen ganzen Ton zu machen, d. h. den Ton H um einen halben Ton zu erniedrigen. Diese Erniedrigung um einen halben Ton bezeichnet man durch ein dem Tone vorgesetztes *h*, und um den Ton als um einen halben Ton erniedrigt in der Sprache zu erkennen zu geben, hängt man dem ihm zukommenden Buchstaben noch es an, z. B. des, ges, sagt aber statt aēs nur as, statt ees nur es und statt hes ohne Weiteres h.

In der Fdur-Tonleiter ist also *b* statt *h* zu setzen. Gehen wir von F um eine Quinte abwärts, so kommen wir auf den Ton *b*, und nehmen wir diesen als Grundton an, so sind wir gezwungen, auch *e* um einen halben Ton zu erniedrigen, also dafür *es* zu setzen. Gehen wir von *b* ebenfalls eine Quinte abwärts und nehmen diesen Ton, also *es*, zum Grundton, so wird noch eine dritte Erniedrigung um einen halben Ton erforderlich und zwar ist *as* statt *a* zu setzen. So um eine Quinte von dem jedesmaligen letzten Grundton absteigend, wird jedesmal die Erniedrigung noch eines Tones nothwendig und zwar ist dies stets die absteigende Quinte von dem zuletzt erniedrigten Tone.

Folgt aus der Nothwendigkeit, jeden Ton als Grundton einer Dur-Tonleiter annehmen zu können, die Erhöhung und Erniedrigung der einzelnen Töne der Cdur-Tonleiter um einen halben Ton, so ist damit auch die Nothwendigkeit gegeben, überhaupt von jedem Tone in Intervallen von halben Tönen fortschreiten zu können.

Die Tonleiter, bei welcher zuerst zwei ganze Töne auf einander folgen, dann ein halber Ton kommt, auf welchen drei ganze Töne folgen und endlich ein halber Ton die Octave schließt, nennt man die diatonische Tonleiter; schreitet man durch die ganze Octave nach halben Tönen fort, so erhält man die chromatische Tonleiter.

Bei der Bildung der chromatischen Tonleiter stellt sich der Uebelstand heraus, daß man wegen der Ungleichheit der Intervalle der ganzen Töne durch die Erhöhung eines Tones um einen halben Ton und Erniedrigung des folgenden um ebenfalls einen halben Ton nicht auf denselben Ton trifft, mag man die Erhöhung und Erniedrigung nach dem Intervalle eines großen oder kleinen halben Tones bemessen. Es machen weder zwei kleine, noch zwei große halbe Töne einen großen oder einen kleinen ganzen Ton aus. Erhöht man einen Ton um einen kleinen halben Ton und erniedrigt man den nächsten Ton, stehe dieser in dem Intervalle eines großen oder kleinen ganzen Tones, ebenfalls um einen kleinen halben Ton, so ist der um einen halben Ton erniedrigte Ton etwas höher als der um einen

halben Ton erhöhte. Es stehen z. B. C und D in dem Verhältnisse 1 zu $\frac{9}{8}$. Cis würde zu C in dem Verhältnisse $\frac{25}{24}$ stehen und des in dem Verhältnisse $\frac{27}{25}$, d. h. wenn C 600 Schwingungen macht, so legt in derselben Zeit Cis 625 und Des 648 zurück, d. h. Des ist höher als Cis; oder nehmen wir die Töne D und E, die in dem Verhältnisse 1 zu $\frac{10}{9}$ stehen, so würden D und Dis in dem Verhältnisse von 1 zu $\frac{25}{24}$ und D und Es in dem Verhältnisse 1 zu $\frac{16}{15}$ stehen, d. h. wenn D 600 Schwingungen macht, so legt Dis 625 und Es 640 zurück, d. h. Es ist höher als Dis. — Erhöht man hingegen einen Ton um einen großen halben Ton und erniedrigt man den nächsten Ton, gleichgültig ob derselbe in dem Intervalle eines großen oder kleinen ganzen Tones zu demselben stehe, um einen großen halben Ton, so ist der um einen halben Ton erniedrigte Ton etwas niedriger, als der um einen halben Ton erhöhte. Bei dem Intervalle von C zu D würde dann das Verhältniß von C zu Cis 1 zu $\frac{16}{15}$ und von C zu Des 1 zu $\frac{135}{128}$ werden, d. h. wenn C 1920 Schwingungen macht, legt Cis 2048 und Des 2025 zurück, d. h. Cis ist höher als Des; oder bei dem Intervalle von D zu E würde das Verhältniß von D zu Dis 1 zu $\frac{16}{15}$ und von D zu Es 1 zu $\frac{25}{24}$ werden, d. h. wenn C 1920 Schwingungen macht, legt Dis 2048 und Es 2000 zurück, d. h. Dis ist höher als Es. — Zwei Intervalle eines kleinen halben Tones sind mithin zusammen kleiner als ein ganzer Ton, und zwei Intervalle eines großen halben Tones zusammen größer als ein ganzer Ton.

Schaltet man in die diatonische Tonleiter halbe Töne ein, indem man bei den Intervallen der ganzen Töne den niederen Ton um einen kleinen halben Ton erhöht und den höheren um einen kleinen halben Ton erniedrigt, so erhält man folgende Töne und Schwingungszahlen:

Ton	Schwingungszahlen		Ton	Schwingungszahlen	
C	1	1,00000	Ges	$\frac{36}{25}$	1,44000
Cis	$\frac{23}{24}$	1,04166	G	$\frac{3}{2}$	1,50000
Des	$\frac{27}{25}$	1,08000	Gis	$\frac{25}{16}$	1,56250
D	$\frac{9}{8}$	1,12500	As	$\frac{8}{5}$	1,60000
Dis	$\frac{75}{64}$	1,17187	A	$\frac{5}{3}$	1,66667
Es	$\frac{6}{5}$	1,20000	Ais	$\frac{125}{72}$	1,73671
E	$\frac{5}{4}$	1,25000	B	$\frac{9}{5}$	1,80000
F	$\frac{4}{3}$	1,33333	H	$\frac{15}{8}$	1,87500
Fis	$\frac{25}{18}$	1,38889	c	2	2,00000

Auf manchen Instrumenten, z. B. auf der Geige kann man diese feineren Unterschiede, z. B. zwischen Dis und Es ausdrücken; auf dem Clavier ist dies jedoch nicht möglich. Man hat bei derartigen Instrumenten einen Mittelton, welcher die Stelle beider, z. B. Cis und Des, oder Dis und Es vertritt. Von einer so gebauten chromatischen Tonleiter sagt man, sie sei nach der ungleichschwebenden Temperatur gestimmt.

Da das Ohr eine Abweichung des Tones von den oben aufgestellten Schwingungsverhältnissen für consonirende Intervalle verträgt, so liegt es nahe, alle Inter-

valle der Octave gleich groß zu machen. Von einer so gebauten chromatischen Tonleiter sagt man dann, sie sei nach der gleichschwebenden Temperatur gestimmt. Eine solche Tonleiter enthält innerhalb der Octave 12 Intervalle, und da das Verhältniß der Octave 1 zu 2 ist, so muß jedes Intervall gleich $\sqrt[12]{2} = 1,05946$ werden. Hiernach erhalten wir für die gleichschwebende chromatische Tonleiter folgende Verhältnisse:

Ton	Schwingungszahl	Saitenlänge
C, Grundton	1,00000	1,00000
Cis und Des, kleine Sec.	1,05946	0,94387
D, große Sec.	1,12246	0,89090
Dis und Es, kleine Terz	1,18921	0,84090
E, große Terz	1,25992	0,79370
F, Quarte	1,33484	0,74915
Fis und Ges, falsche Quinte	1,41421	0,70710
G, Quinte	1,49831	0,66741
Gis und As, kleine Sexte	1,58741	0,62996
A, große Sexte	1,68179	0,59460
Ais und B, kleine Septime	1,78180	0,56123
H, große Septime	1,88775	0,52973
c, Octave	2,00000	0,50000

Da man leicht hört, ob die Quinte eines Tones rein ist, so könnte man auf den Gedanken kommen, ein Clavier oder überhaupt ein Instrument mit mehreren Octaven feststehender Töne, dadurch in allen Tönen rein zu stimmen, daß man von einem Tone als Grundton ausgehend die fortlaufenden Quinten zunächst stimmt und zu diesen dann die Octaven nähme. Wir haben jedoch bereits gesehen, daß man dann, z. B. von C ausgehend nicht auf F kommt, sondern von C auf G, D, A, E, H, Fis. In dieser Quintenfolge sind aber nicht einmal alle Töne rein; denn da das Quintenverhältniß 1 zu $\frac{3}{2}$ ist, so ist zwar G rein, eben so D, weil, wenn G $\frac{3}{2}$ Schwingungen macht, die Quinte $\frac{9}{4}$ oder in der niederen Octave $\frac{9}{8}$ Schwingungen zurücklegt und dies das genaue Verhältniß von C zu D ist; aber die reine Quinte von D würde auf einen Ton führen, welcher $\frac{27}{16}$ Schwingungen macht, während auf A nur $\frac{3}{2}$ kommen, d. h. die reine Quinte von D macht 81 Schwingungen, während auf A nur 80 in derselben Zeit kommen. Die reine Quinte von D unterscheidet sich mithin von A gerade um ein Komma. Da E genau die Quinte von A ist, so versteht sich nun von selbst, daß die zweite Quinte von D auch kein reines E giebt, sondern ebenfalls um ein Komma davon verschieden ist. Eben so ist es mit der dritten Quinte von D, mit H. Beim Stimmen nach reinen Quinten erhält man mithin keine reine Octave. — Eben so gelangt man beim Stimmen nach reinen Terzen zu keinen reinen Tönen; man muß den Ton etwas oberhalb oder unterhalb schweben lassen, und diese Ausgleichung ist eben die musikalische Temperatur. Der Grund der Unmöglichkeit nach Quinten oder Terzen rein zu stimmen, liegt darin, daß die Potenz eines Bruches nie eine ganze

Zahl und eben so wenig ein Vielfaches dieses Bruchs gleich einer ganzen Zahl sein kann.

Läßt man mehr als zwei Töne zugleich oder unmittelbar hinter einander erklingen, so erhält man einen Dreiklang. Sind alle Töne eines Dreiklanges unter sich consonirend, so ist der ganze Dreiklang consonirend und dann nennt man ihn einen Accord. Es fragt sich nun, welche unter den möglichen Dreiklängen Accorde geben.

Da das Intervall des ersten zum zweiten Tone, eben so das des ersten zum dritten und das des zweiten zum dritten consonirend sein muß, wenn der Dreiklang consonirend sein soll, so haben wir gemäß dem oben eingeschlagenen Wege über die Consonanz zweier Töne, wenn wir nicht über die Töne hinausgehen, deren Schwingungsverhältniß zum Grundton durch keine größere Zahl als 8 ausgedrückt ist, die Untersuchung auf folgende Dreiklänge zu erstrecken.

1) C, Es, E.	6) C, E, F.	10) C, F, G.	13) C, G, As.	15) C, As, A.
2) C, Es, F.	7) C, E, G.	11) C, F, As.	14) C, G, A.	
3) C, Es, G.	8) C, E, As.	12) C, F, A.		
4) C, Es, As.	9) C, E, A.			
5) C, Es, A.				

Die Verhältnisse des ersten und zweiten, eben so des ersten und dritten Tones sind schon nach der Voraussetzung consonirend. Bestimmen wir noch das Verhältniß des zweiten und dritten Tones, so finden wir bei:

1) $\frac{25}{24}$; 2) $\frac{10}{9}$; 3) $\frac{5}{4}$; 4) $\frac{4}{3}$; 5) $\frac{25}{18}$; 6) $\frac{16}{15}$; 7) $\frac{6}{5}$; 8) $\frac{32}{25}$; 9) $\frac{4}{3}$; 10) $\frac{9}{8}$; 11) $\frac{6}{5}$; 12) $\frac{5}{4}$; 13) $\frac{16}{15}$; 14) $\frac{10}{9}$; 15) $\frac{25}{24}$.

Diejenigen der aufgestellten 15 Dreiklänge, bei welchen dies letzte Verhältniß consonirend ist, können nur consonirende Dreiklänge oder Accorde geben. Es bleiben also nur Nr. 3, 4, 7, 9, 11, 12 übrig, d. h.

1) C, Es, G. 2) C, Es, As. 3) C, E, G. 4) C, E, A. 5) C, F, As und 6) C, F, A.

Betrachten wir diese 6 Accorde näher, so reduciren sie sich auf zwei Tonarten. Das Verhältniß in Beziehung zum Grundtone ist nämlich entweder 4 : 5 : 6 oder 10 : 12 : 15. Betrachten wir C : E : G, so finden wir $1 : \frac{5}{4} : \frac{3}{2}$ oder 4 : 5 : 6. Der Accord C, Es, As giebt das Verhältniß $1 : \frac{6}{5} : \frac{8}{5}$ oder 5 : 6 : 8. Setzen wir die niedere Octave des letzten Tones noch hinzu, so erhalten wir 4 : 5 : 6 : 8, wie im ersten Falle, wenn wir die Octave des ersten Tones noch hinzufügen. Auch C, F, A führt auf diese Verhältnisse. Wir haben nämlich $1 : \frac{4}{3} : \frac{5}{3}$ oder 3 : 4 : 5 oder, wenn wir die höheren Octaven der beiden ersten Töne hinzufügen und den ersten Ton fortlassen, 4 : 5 : 6 : 8. — Ebenso läßt sich nachweisen, daß die drei übrigen Accorde auf das Verhältniß 10 : 12 : 15 führen, welches bei dem Accord C, Es, G sofort in die Augen springt, da sich diese Töne wie $1 : \frac{6}{5} : \frac{3}{2}$ oder 10 : 12 : 15 verhalten. Der Accord C, E, A giebt das Verhältniß $1 : \frac{5}{4} : \frac{5}{3}$ oder 12 : 15 : 20. Setzen wir die nächst niedrige Octave des höchsten Tones hinzu, so bekommen wir 10 : 12 : 15 : 20. Der Accord C, F, As führt zu den Verhältnissen $1 : \frac{4}{3} : \frac{8}{5}$

oder 15 : 20 : 24. Fügen wir die nächst niederen Octaven der beiden letzten Töne hinzu, so erhalten wir bei Fortlassung des letzten Tones die Folge 10 : 12 : 15 : 20.

Es giebt also eigentlich nur die beiden dreistimmigen Accorde $1 : \frac{5}{4} : \frac{3}{2}$ und $1 : \frac{6}{5} : \frac{3}{2}$. Außer diesen sind keine wesentlich verschiedenen Dreiklänge möglich, und da man, ohne aus der Octave herauszugehen, kein viertes consonirendes Intervall hinzufügen kann, welches nicht gegen eines der vorhandenen dissonirt, so ist leicht einzusehen, daß kein vier- oder mehrstimmiger consonirender Accord möglich ist. Da diese beiden Arten von Accorden erfahrungsmäßig eine verschiedene Wirkung hervorbringen, indem der Accord 4 : 5 : 6 mehr befriedigt, als der Accord 10 : 12 : 15, so unterscheidet man sie auch in ihrer Benennung und nennt jenen den Dur-Accord, diesen den Moll-Accord, oder harten und weichen Dreiklang. Beide Accorde sind darin einander ähnlich, daß jeder aus einer großen und kleinen Terz — die zusammen eine Quinte ausmachen — besteht; sie unterscheiden sich aber dadurch, daß bei dem harten Dreiklange die große, bei dem weichen die kleine Terz vorangeht.

Den Dreiklang C, E, G oder G, T, Q nennt man den eigentlichen Dur-Accord, eben so, den Dreiklang C, Es, G oder G, t, Q den eigentlichen Moll-Accord. Die beiden Dreiklänge E, G, c oder G, t, s und Es, G, c oder G, T, S nennt man Sexten-Accorde, endlich die Dreiklänge G, c, e oder G, q, S und G, c, es oder G, q, s Quart-Sexten-Accorde.

Da in einer brauchbaren Tonleiter jeder Ton als Grundton muß angenommen werden können, und in der Moll-Tonleiter dem Grundtone eine kleine Terz, dieser aber eine große Terz folgt, so ergibt sich, daß man zu jeder Moll-Tonleiter die entsprechende Dur-Tonleiter findet, d. h. eine Tonleiter, bei welcher auf den Grundton eine große Terz folgt, wenn man die kleine Terz des Grundtones der Moll-Tonleiter als Grundton der Dur-Tonleiter nimmt; ebenso daß man für jede Dur-Tonleiter die entsprechende Moll-Tonleiter findet, wenn man von dem Grundtone der Dur-Tonleiter die absteigende kleine Terz als Grundton der Moll-Tonleiter nimmt. Es sind also folgende Dur- und Moll-Tonleitern C-Dur = A-Moll, G-Dur = E-Moll, D-Dur = H-Moll, A-Dur = Fis-Moll, E-Dur = Cis- oder Des-Moll, H-Dur = Gis- oder As-Moll, eben so C-Moll = Es-Dur, G-Moll = B-Dur, D-Moll = F-Dur, A-Moll = C-Dur u. s. f.

Wir haben oben in der Octave 12 Intervalle erhalten; es fragt sich aber, ob dies die zweckmäßigste Anzahl von Intervallen ist. Gehen wir davon aus, eine Tonleiter nach der gleichschwebenden Temperatur zu bauen und nehmen wir n Glieder an mit dem Verhältnissfactor x, so erhalten wir folgende Reihe:

$$\begin{array}{ccccccccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & . & . & . & . & n & n+1 \\ 1 & x & x^2 & x^3 & . & . & . & . & x^{n-1} & x^n \end{array}$$

Da nun, wenn die Octave n Töne enthält, der n + 1ste Ton wieder die Octave des Grundtones, und wenn dieser = 1 gesetzt ist, = 2 sein muß, so haben wir

hieraus $x^n = 2$, mithin $x = \sqrt[n]{2}$ oder $= 2^{\frac{1}{n}}$ und können, indem wir dies substituiren, der Reihe folgende Form geben:

$$\begin{array}{ccccccc}
 1 & 2 & 3 & 4 & \dots & n & n+1 \\
 & \frac{1}{2^n} & \frac{2}{2^n} & \frac{3}{2^n} & \dots & \frac{n-1}{2^n} & \frac{n}{2^n} \\
 1 & 2^n & 2^n & 2^n & \dots & 2^n & 2^n = 2
 \end{array}$$

In dieser Reihe, welche unter allen Umständen dem Erfordernisse eines gleichmäßigen Abstandes der auf einander folgenden Töne genügt, ist n noch unbestimmt, und kann so gewählt werden, daß man in der Reihe die consonirenden Intervalle mit möglichster Genauigkeit vorfindet, ohne die Zahl der Töne zu groß zu machen. Hierzu reicht es aber hin, wenn sich in der Reihe eine gute Quinte und große Terz finden, da der Abstand beider von einander ($3/4 : 3/2$) von selbst eine kleine Terz giebt, die übrigen Consonanzen aber, als Umkehrungen von diesen, mit ihnen stehen und fallen. Demnach muß die Quinte $2^{q/n} = 3/2$ und die Terz $2^{1/n} = 3/4$ nahe richtig sein.

Es ist also annähernd $2^{q/n} = 3/2 = 1,5$

$$\frac{q}{n} \log 2 = \log 1,5$$

$$\frac{q}{n} = \frac{\log 1,5}{\log 2} = \frac{0,17609}{0,30103}$$

Verwandelt man dies in einen Kettenbruch, so findet man

$$\begin{array}{c}
 \frac{q}{n} = \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{2 + \frac{1}{2 + \frac{1}{3 + \frac{1}{1 + \frac{1}{5}}}}}}}
 \end{array}$$

Beschränkt man sich auf die drei ersten Glieder, so findet man den Näherungswert $\frac{q}{n} = 3/5$, d. h. in einer Scala von 5 Tönen würde der dritte ziemlich nahe die Quinte des Grundtones sein. Man erhält $2^{3/5} = 1,5157$ statt 1,5; mithin doch noch eine ziemlich unreine Quinte. Da in der Scala von 5 Tönen überdies keine irgend erträgliche Terz ist, so muß solche Scala verworfen werden. —

Als Näherungswert aus den 4 ersten Gliedern erhalten wir $\frac{q}{n} = 7/12$ und findet

$2^{7/12} = 1,4983$, was nur um $17/10000$ von der arithmetischen Einheit abweicht, ihr also sehr nahe kommt. Die Scala von 12 Tönen enthält daher in ihrem 7. Tone eine sehr brauchbare Quinte, die nur um eine Kleinigkeit, nämlich um $1/588$ unterschwebend ist.

Stellt man eine gleiche Berechnung in Ansehung der großen Terz an, um zu sehen, ob sie auf dasselbe n führt, so hat man:

$$\frac{1}{n} = \frac{\log 1,25}{\log 2} = \frac{0,09691}{0,30103}.$$

Dieser Bruch in einen Kettenbruch verwandelt, giebt:

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{3 + \frac{1}{9 + \frac{1}{2 + \frac{1}{2}} \dots}}$$

Summirt man hier 2 Glieder, so erhält man $\frac{9}{28}$, d. h. in einer Scala von 28 Tönen würde die große Terz nahe der 9. sein. Allein 28 Töne auf die Octave ist schon eine zu große Zahl, auch findet sich in einer Scala von 28 Tönen keine gute Quinte. Wir werden uns daher schon mit dem ersten Näherungswerte $\frac{1}{n} = \frac{1}{3} = \frac{4}{12}$ begnügen müssen. In der bereits für die Quinte ge-

fundenen Scala von 12 Tönen wird also der 4. eine genäherte große Terz sein. Die Rechnung giebt:

$$2^{1/3} = 1,25992, \text{ sollte aber } 1,25 \text{ sein.}$$

Die hier gefundene große Terz ist also nahe $\frac{1}{100}$ größer, als der nöthigen Reinheit gemäß ist; dies ist aber eine Abweichung, welche das Ohr noch ertragen kann. Da die große Terz nun zu groß, die Quinte aber ein wenig zu klein ist, so werden aus doppeltem Grunde beide Töne zu stark genähert sein. Da ihr Intervall aber eine kleine Terzausmachen muß, so wird diese zu klein, und noch etwas unreiner als die große Terz sein. Weil die Quinte indessen fast vollkommen rein ist, so ist dies nicht bedeutend; man findet nämlich $2^{3/4} = 1,892$ statt $\frac{3}{2} = 1,2$.

Wir können hieraus den Schluß ziehen, daß die Scala von 12 Tönen in der Octave diejenige ist, welche den Anforderungen am meisten entspricht.

Die heutige Musik macht jedoch im Ganzen von 21 Tönen Gebrauch, die im Umfange einer Octave enthalten sind, nämlich von den Haupttönen C, D, E, F, G, A, H, den erhöhten Tönen C[#], D[#], E[#], F[#], G[#], A[#], H[#] und den erniedrigten Tönen C^b, D^b, E^b, F^b, G^b, A^b, H^b. Dabei wird gewöhnlich angenommen, daß die beiden letzten Tonreihen in gleicher Reinheit und Schärfe wie die Haupttöne sich durch einfache rationale Verhältnisse ihrer Schwingungsmengen zu der des Grundtones C bestimmen lassen, und daß nur die Einrichtung solcher Instrumente, die, wie die Tasteninstrumente, auf eine geringere Anzahl festbestimmter Töne beschränkt sind, zur Reduction jener 21 Töne auf eine Minderzahl (gewöhnlich 12) und damit zu einer Abänderung ihrer reinen Verhältnisse, zu einer Temperatur nöthige, wobei es darauf ankommt, solche Abweichungen von der Reinheit zu finden, die dem musikalischen Gehör entweder unmerklich oder doch erträglich sind. Inzwischen hat W. B. Drobisch zu zeigen versucht, daß jene Annahme von einer möglichen Fixirung der erhöhten und erniedrigten Töne in absoluter Reinheit irrig ist, daß die bekannten akustischen Zahlenbestimmungen über ihre Höhe einen nur sehr relativen Werth haben, und daß der angegebene Begriff der Tem-

peratur zu eng gefaßt ist, vielmehr bei einer Annahme von 21 fixen Tönen irgend eine Temperatur unter allen Umständen unvermeidlich wird, daher der Begriff der Temperatur eine höhere Bedeutung hat als die eines Nothbehelfs für beschränkte Instrumente. Drobisch hat die verschiedenen möglichen Arten von Temperatur in größerer Vollständigkeit, als es bisher geschehen, wissenschaftlich nachgewiesen *).

Wenn ein vollklingender Ton lange angehalten wird, so hört ein geübtes aufmerksames Ohr eine Reihe anderer Töne mitklingen. Um den Versuch zu machen, schlage man einen der tiefsten Töne eines Claviers an, oder streiche eine Saite eines Basses. Recht auffallend stellt sich die Erscheinung bei dem weit hin tönenden tiefen Tone heraus, den in meiner Nachbarschaft das Cylindergebläse einer Maschinenbauanstalt erregt. Ich habe oft minder geübte Personen darauf aufmerksam gemacht und das Vergnügen gehabt, von denselben das Mitklingen der Töne, wie man diese Erscheinung nennt, erkannt zu sehen. Diese Töne sind die höhere Octave, die Quinte über der Octave, die Doppel-Octave, die große Terz und die Quinte über der Doppel-Octave und wohl noch mehr. Unter ihnen heben sich vorzüglich die Quinte und die große Terz hervor, da man die Octaven wegen ihrer großen Ähnlichkeit nicht leicht unterscheiden kann.

Die Reihe dieser Töne, die in vollkommener Reinheit erscheinen, ist arithmetisch dargestellt durch die natürliche Zahlenreihe 1, 2, 3, 4, 5, 6 etc. Man nennt diese Töne harmonische Töne. Dieselben Töne erhält man, wenn man eine Saite erst ganz schwingen läßt, dann zur Hälfte, dann nur im 3., 4., 5., . . . Theile; auch erscheint dieselbe Reihe von Tönen, wenn eine in einer an beiden Enden offenen Röhre enthaltene Luftsäule durch ein schwächeres oder stärkeres Anblasen in longitudinale Schwingungen gesetzt wird, eben so wie bei anderen longitudinalen Schwingungen. Gehen wir von C als Grundton aus, bezeichnen wir dabei die höheren Octaven durch Exponenten und die zu hohen Töne durch ein vorgesetztes +, die zu niedrigen durch ein vorgesetztes —, so erhalten wir folgende Töne:

C, C², G², C³, E³, G³, + Ais³, C⁴, D⁴, E⁴, — Fis⁴, G⁴, + As⁴, + Ais⁴, H⁴, C⁵, — Des⁵, D⁵, — Es⁵, E⁵, + F⁵, — Fis⁵, — Ges⁵, G⁵, Gis⁵, + As⁵, — A⁵, + Ais⁵, + B⁵, H⁵, — C⁶, C⁶.

Den physikalischen Grund des Mitklagens allgemein anzugeben, ist nicht ohne Schwierigkeit. Die gleichzeitige Existenz aller dieser Töne in den Schwingungen einer einzigen Saite scheint das Phänomen bei Saiten verständlich zu machen; ob aber hierin der allgemeine Grund gefunden ist, wird zweifelhaft, wenn das Mitklingen bei dem Tone einer Orgelpfeife, einer Glocke etc. zugegeben werden muß. In diesem Falle würde man zu der Annahme seine Zuflucht nehmen müssen, daß die Luftwelle selbst und zwar ohne durch äußere Impulse dazu veranlaßt zu sein, sich auf entsprechende Weise, wie die Saite gliedert, und so die mitklingenden Töne von selbst hervorbringe.

*) Vergl. Drobisch, über musikalische Tonbestimmung und Temperatur, Leipzig 1852, und in Pogg. Ann. Bd. XC. S. 353 über die wissenschaftliche Bestimmung der musikalischen Temperatur.

Betrachten wir das gleichzeitige Schwingen einer Saite näher. Berührt man eine Saite in ihrer Mitte leise, oder nähert man auch nur den Finger fast bis zur Berührung und streicht sie dann, so schwingt sie in zwei Abtheilungen und giebt die Octave ihres Grundtones. Berührt man sie im dritten Theile ihrer Länge, so schwingt sie in 3 Abtheilungen und giebt die Quinte ihrer Octave; in 4 Abtheilungen die Doppel-Octave &c.

Bei diesen transversalen Schwingungen der Saiten, so wie der festen Körper überhaupt, herrscht das in der Natur der Sache begründete Gesetz, daß die durch die Schwingungen verursachten Biegungen in jedem Momente eine zusammenhängende stetige Curve ohne Wendepunkte bilden müssen. Während also der eine Theil abwärts gebogen ist, muß der benachbarte aufwärts gebogen sein und umgekehrt, wenn die Saite in mehreren Abtheilungen schwingt. Aus diesem Gesetze der Stetigkeit folgt aber, daß die Saite nicht anders als in gleich großen Abtheilungen schwingen kann, so lange sie in sofern frei ist, als kein Theil am Mitschwingen gehindert wird und eine Mittheilung der Biegung von einem Theile zum anderen möglich bleibt. Macht man den Versuch in oben angegebener Weise mit einem Monochorde und setzt dabei in der Mitte eingeknickte schmale Papierstreifen, sogenannte Papierreiter, auf die Saite, so werden diese von den Schwingungen abgeworfen, bleiben aber auf den Schwingungsknoten sitzen. Die Schwingungsknoten fallen auf die Theilpunkte der Saite. Diesen Versuch mit den Papierstreifen machten zuerst Noble und Vigot im Jahr 1673. Aus diesem Versuche, der mit dem Gesetze der Stetigkeit in voller Uebereinstimmung steht, darf man nun wohl schließen, daß eine frei schwingende tönende Saite nicht nur in ihrer ganzen Länge schwingt, sondern daß auch jede ihrer Hälften, jedes ihrer Drittel, ihrer Viertel, ihrer Fünftel &c. für sich schwingt und den seiner Länge entsprechenden Ton erzeugt, und daß hierin also wenigstens bei Saiten die Ursache des Mitklingens der harmonischen Töne liegt. Kann man doch auch ein Lau derartig in Schwingungen versetzen, daß es gleichzeitig in seiner ganzen Länge und in aliquoten Theilen schwingt.

Daß die Luftwelle bei dem Mitklingen eine Rolle spielt, dafür scheint die Thatsache zu sprechen, daß, wenn die Saiten eines Monochords oder einer Aeolsharfe im Einklange sind und man die eine von ihnen zum Tönen bringt, sich auch die übrigen in Bewegung setzen und mitzuklingen anfangen, wie man sich durch aufgesetzte Papierreiterchen, durch den bloßen Anblick — indem die Saite sich scheinbar verdickt —, auch durch das Gehör, wenn man die erste Saite benimmt, überzeugen kann. Ferner kann man sich bei dem Pianoforte, wenn die Hemmung oder Dämpfung außer Thätigkeit gesetzt ist, in gleicher Weise überzeugen, daß mit einer angeschlagenen Saite, die einen gewissen Ton giebt, auch diejenigen Saiten, welche die höhere Octave, die Quinte darüber, die Doppel-Octave und die große Terz darüber angeben, sich in Bewegung setzen und wie durch Sympathie mitzuklingen anfangen. Wollte man dies auf die Resonanz, die allerdings befördernd wirkt, allein schieben, so bedenke man, daß sich diese Erscheinung nicht auf die Saiten eines und desselben Instrumentes beschränkt, sondern daß auf einer Violine oder Guitarre, die über dem Pianoforte an der Wand hängt, oder die Jemand in der Hand hält, die Saiten mitzuschwingen anfangen, wenn ein ihnen verwandter Ton auf einem ganz getrennten Instrumente stark angegeben wird und voll ausklingt. In diesem Falle dürfte sich der Einfluß der Luftbewegung nicht bestreiten

lassen, wie gering auch die hierin liegende bewegende Kraft sein mag. Es scheint, daß jeder Körper bei einem bestimmten Tone in stärkere Schwingungen gerathe, als bei einem anderen. Auch gehört hierher die Thatfache, daß man beim Hineinschreien eines bestimmten Tones in ein Trinkglas dasselbe zersprengen kann. Ein Holländer Nicolaus Peter, Weinhändler, war als Glashreier oder Glaszersprenger, *hyaloclastes*, seiner Zeit berühmt.

Die Mittheilung der Schallschwingungen erfolgt indessen nicht bloß durch die Luft, sondern auch und zwar viel vollständiger durch feste elastische Körper.

Ueber die Interferenzerscheinungen beim Schalle und die damit in Verbindung stehenden Stöße und Combinationstöne handelt Art. Interferenz, Bd. IV. S. 101 ff.

Bezüglich der Combinationstöne hat neuerdings Helmholtz *) Untersuchungen veröffentlicht. Gelangen zwei Systeme von Schallwellen, welche zwei Tönen entsprechen, zu unserem Gehörorgane, so können durch das Zusammentreffen dieser Systeme neue Töne, sogenannte Combinationstöne, entstehen. Zunächst werden nun die tieferen Combinationstöne, welche zwei einfache Töne geben können, untersucht. Helmholtz findet, daß einfache Töne nur solche tiefere Combinationstöne hören lassen, deren Schwingungszahl gleich der Differenz der Schwingungszahlen der primären Töne ist, und daß, wenn Combinationstöne anderer Ordnung daneben existiren, diese zu schwach sind, um bei mäßiger Stärke der primären Töne dem Ohre vernehmbar zu werden. Wenn bei zusammengesetzten Tönen Combinationstöne höherer Ordnung oft sehr deutlich auftreten, so sind diese als Combinationstöne der höheren Beutöne zu betrachten. — Helmholtz ging bei dieser Untersuchung von folgendem Princip aus. Von zwei elastischen Körpern, welche in Schwingung versetzt gleichen Grundton geben, möge der eine, der tonerregende, seine Schwingungen möglichst wenig der Luft mittheilen, der andere, der Resonator, welcher von jenem in Mitschwingungen versetzt wird, sei dagegen von der Art, daß er seine Schwingungen der Luft leicht und stark mittheile. Sämmtliche höhere Nebentöne des einen seien von denen des anderen verschieden, während der Grundton beider Körper gleich ist. Bringt man nun den Tonerreger in Schwingung, so tönt der Resonator mit, aber nur in denjenigen Tönen, welche beiden gemeinsam sind. Ist also der Grundton gemeinsam, so wird der Resonator nur von diesem erregt werden und nur die Schwingungen des Grundtones der Luft mittheilen. Zu den tonerregenden Körpern fand Helmholtz Stimmgabeln geeignet, die in der Hand gehalten werden; als Resonator benutzte er die Saite eines Monochords oder auch Lufträume. Die Stimmgabeln waren an ihrem Stielende mit einer sattelförmigen Vorrichtung versehen, deren convexe Fläche auf eine gespannte Saite gesetzt diese nur in einem Punkte berührte und auf derselben, ohne abzugleiten, verschoben werden konnte. Der Stiel der Gabel war überdies durch ein Holzklöpfchen gesteckt, um dieselbe beim Anfassen nicht zu erwärmen. Bezüglich des Weiteren müssen wir hier auf die Abhandlung selbst verweisen.

Helmholtz fand nun bei dieser Gelegenheit eine neue Art von Tönen, die er Summationstöne nennt, weil deren Schwingungszahl gleich ist der Summe der primären Töne. Wenn man zuerst den höheren der zu combinirenden Töne,

*) Pogg. Ann. Bd. XCIX. S. 497.

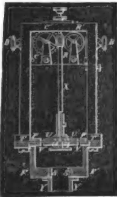
und dann den tieferen angiebt, so tritt noch ein höherer hinzu, und dieser ist eben der Summationston. Geeignet zur Hervorbringung solcher Töne sind die Phosphorharmonika oder Orgelpfeifen, wo man das Ohr den Mundstücken der Pfeifen nähert, und vorzugsweise auch die von Dove verbesserte Sirene.

Rücksichtlich der Theorie der Combinationstöne weist Helmholtz nach, daß verschiedene einfache Schwingungsbewegungen eines elastischen Körpers sich nur so lange ungestört superponiren, als die Amplituden der Schwingungen so klein sind, daß die durch die Verschiebung hervorgerufenen Bewegungskräfte diesen Verschiebungen selbst merklich proportional sind. Wenn dagegen die Amplituden der Schwingungen so groß werden, daß die Quadrate der Verschiebungen einen merklichen Einfluß auf die Größe der Bewegungskräfte erhalten, so entstehen neue Systeme einfacher Schwingungsbewegungen, deren Schwingungsdauer derjenigen der bekannten Combinationstöne entspricht.

Auch wird von Helmholtz dargethan, daß die Combinationstöne objectiver Art sind, so daß ihnen wirkliche Schwingungen des Trommelfelles und der Gehörknöchelchen entsprechen, die dann durch Vermittelung des Nervenapparates wie andere empfunden werden.

Ein für die Theorie des Schalles überhaupt und des Tones insbesondere wichtiges Instrument ist die Sirene. Dasselbe hat seinen Namen von seinem Erfinder Gagniard de la Tour *) erhalten, weil es die Eigentümlichkeit hat, im Wasser und in verschiedenen Flüssigkeiten direct tönende Schwingungen hervorzubringen. Vorstehende Fig. I. stellt dasselbe dar. TT'FF' ist ein cylindrischer Kasten von Kupfer, welcher zwei oder drei Zoll Durchmesser und ungefähr einen Zoll Höhe hat; die obere Fläche der Decke TT' ist eben und wohl polirt. SS' ist eine Oeffnung, welche mitten durch den Boden FF' geht. YY' ist eine Windröhre, welche in die Oeffnung SS' eingepaßt oder eingeschraubt ist. V sind Oeffnungen in dem Deckel TT', welche ringsherum gehen und sich in gleichen Abständen von einander befinden (Fig. II.). Man kann deren z. B. 10 anbringen und ihnen solche Durchmesser geben, daß

I.



II.



geringerer Geschwindigkeit drehen kann. U sind Oeffnungen, welche durch die Platte PP' gehen und die den Oeffnungen V des Deckels genau entsprechen, sowohl hinsichtlich der Anzahl als der Stellung und der verhältnißmäßigen

*) Giltb. Ann. Bd. LXXXVI. S. 268.

Abstände (s. vorstehende Fig. II.). Auf diese Weise sind alle Oeffnungen des Deckels entweder zugleich geöffnet oder zugleich geschlossen, je nachdem bei der Umdrehung der Platte P P' die Oeffnungen dieser oder die Zwischenräume auf die Oeffnungen des Deckels fallen. I ist eine Schraube ohne Ende am oberen Theile der Drehbare X, R R' ein Rad mit 100 Zähnen, welches die Schraube ohne Ende in Bewegung setzt, C C' ein unabhängiges Rad, welches bei jeder Umdrehung des Rades R R' nur um einen Zahn vorrückt; ein an die Are R R' befestigter Arm trägt dasselbe um einen Zahn fort. Die Aren dieser Räder tragen Nadeln, welche eingetheilte Schiffsreißblätter D und D' (s. nebensteb. Fig. III.) durchlaufen; diese Nadeln und die Räder, welche sie in Bewegung setzen, bilden den Zähler der Sirene. Man kann den Zähler nach Willkür in Bewegung setzen oder anhalten. Zu diesem Zwecke braucht man nur den Knopf B zu drücken, dann greift das Rad R R' in die Schraube ohne Ende, oder den Knopf B', dann wird dieses Eingreifen aufgehoben. In dem letzten Falle schlagen die

III.



Zähne dieses Rades gegen einen Sperrzahn, welcher sogleich die erlangte Geschwindigkeit aufhebt. Es muß noch erwähnt werden, daß die Oeffnungen der Scheibe gegen die Klappen geneigt sind (Fig. IV.), so daß die Geschwindigkeit des

IV.



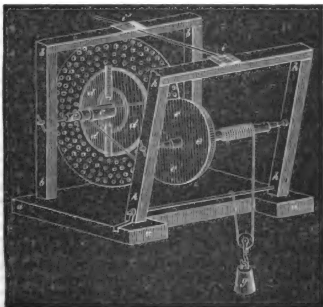
Windes, welcher durch die Windröhre in den Kasten getrieben wird, hinreicht, der Platte eine mehr oder weniger schnelle drehende Bewegung mitzutheilen. Um nun das Spiel der Sirene als akustisches Instrument zu verstehen, nehmen wir einen Augenblick an, daß sich in dem Deckel nur ein einziges Loch und in der Scheibe deren 10 befinden. Dann wird während einer Umdrehung der Scheibe die

Oeffnung des Deckels 10mal geöffnet und 10mal geschlossen sein und mithin wird der Luftstrom, welcher durch die Windröhre eintritt, 10mal stattfinden und 10mal unterbrochen sein. Dies geschieht in 1 oder $\frac{1}{10}$ oder $\frac{1}{100}$ Secunde, je nachdem die Scheibe 1, 10 oder 100 Umdrehungen in einer Secunde macht und da die Luft, welche lebhaft eingestoßen und plötzlich aufgehalten wird, bei jedem Wechsel eine Schwingung erzeugt, so folgt, daß man bei jeder Umdrehung der Scheibe auf diese Weise zwanzig Schwingungen haben wird und folglich 20, 200 oder 2000 Schwingungen in der Secunde. Auf diese Weise muß die Sirene Töne geben, welche gradweise steigen oder vielmehr in unmerklichen Nüancen vom tiefsten bis zum höchsten Tone sich erheben. Die Versuche bestätigen dies. Durch die zehn Oeffnungen in dem Deckel wird die eben betrachtete Wirkung nur verzehnfacht. Die Anzahl, Gestalt und Größe der Oeffnungen scheinen auf den Klang des Schalles einen Einfluß zu haben, von dem man sich bis jetzt noch nicht genau Rechenschaft zu geben weiß. Nach Gaaniard de la Tour nähert sich der Ton der Sirene der menschlichen Stimme, wenn die Zwischenräume zwischen den Oeffnungen sehr klein sind und dem Klange der Trompete, wenn dieselben sehr groß sind.

Eine andere Lochsirene ist von A. Seebeck construiert worden *), aber

* Dove's Repertor. Bd. VIII. S. 25—27.

schon früher in ähnlicher Weise von Dvelt beschrieben *). Die bezügliche Figur stellt die Seebeck'sche Sirene in $\frac{1}{8}$ der natürlichen Größe dar.



Auf einem Brete aaa steht das hölzerne Gestell hhh, in welches die stählernen Lager der in Spitzen laufenden Ase ccc geschraubt sind. Auf dieser Ase ist eine starke hölzerne Scheibe ddd befestigt, welche noch mit einem in der Figur auch angedeuteten Bleiringe zur Vermehrung des Trägheitsmomentes versehen ist, und an welche die aus dünner glatter Pappe (Preßpahn) verfertigte Löcherscheibe geschraubt ist. Ein Paar Windflügel an der Ase cc dienen, in Verbindung mit der Reibung die Bewegung zu reguliren. Die Bewegung wird hervorgebracht durch den Schnurlauf, welcher von dem Wellrade eee nach der Ase cc geht, während die Welle durch das Gewicht g gedreht wird. Wenn das Instrument längere Zeit im Gange bleiben soll, wird die Schnur der Welle von dieser aus zuerst über eine in der Höhe befestigte Rolle und von da über die das Gewicht tragende lose Rolle geführt. Das Holzgestelle h h h h ist unten mit einer eiserne Ase und oben mit einem um i drehbaren und bei i' festgeklammerten Eisenstäbchen versehen. Dies dient nur, den Schnurlauf zu spannen, was eben so gut mit einer Schraube auf bekannte Weise bewerkstelligt werden kann.

Die Ase cc kann herausgenommen werden, um die Löcherscheibe abzunehmen und eine andere dafür aufzuschieben, welche man mit drei Schrauben an

*) Ueber die Natur der Musik, Plauen 1834.

der Scheibe d d von der in der Figur nicht sichtbaren Seite her befestigt. Es ist gut, zwischen die Schraubenköpfe und die Löcher Scheibe noch eine dünne steife Platte, etwa von recht steifer Wappe, zu legen. Die Löcher haben etwa 1 Linie im Durchmesser. Das Anblasen geschieht mit einem Glasröhrchen von demselben Durchmesser. — Vergl. Art. Interferenz, Bd. IV. S. 104.

Eine Lochsirene für gleichzeitige Erregung mehrerer Töne hat Dove *) beschrieben.

H. Savart bediente sich bei seinen Versuchen gezahnter Räder, die er in mehr oder minder schnelle Umdrehung versetzte. Von den Zähnen ließ er ein eingeklemmtes Streifen von Kartenpapier abknappen. Es ist dies die sogenannte Radsirene.

Mit Hülfe der Sirenen kann man nicht nur die allgemeinen, sondern auch die speciellsten Tonverhältnisse ermitteln. Je schneller die Bewegung wird, desto höher zeigt sich unter sonst gleichen Verhältnissen der Ton. Wenn man bei Seebeck's Lochsirene, statt zu blasen, eine Feder Spitze in die Löcher schlagen läßt, so überzeugt man sich, daß die Verschiedenheit der Erschütterung wohl den Klang, aber nicht die Höhe des Tones ändert. Ein Gleiches zeigt sich bei der Radsirene, wenn man verschiedene elastische Stoffe an den Zähnen anschlagen läßt. Um die Zahlenverhältnisse der Töne herzuleiten, wendet man bei Seebeck's Lochsirene eine Scheibe mit concentrischen Löcherreihen an. Man erhält z. B. die Töne des Durdreiklangs, wenn man den Versuch mit einer Scheibe anstellt, welche mit 4 Löcherreihen von 40, 50, 60 und 80 Löchern versehen ist. Nach Savart's Methode befestigt man auf derselben Art Räder, deren Zähnezahl in demselben Verhältnisse steht.

Will man die absolute Anzahl der Schwingungen ermitteln, welche einem gewissen Tone entsprechen, z. B. dem Tone der Stimmgabel, deren man sich bedient, um die musikalischen Instrumente in Einklang zu bringen, so verfährt man mit einer Sirene nach Gagniard de la Tour auf folgende Weise: Man stelle auf einen mit einem doppelten Blasbalge versehenen Tisch eine offene oder geschlossene Röhre, deren Grundton mit der Stimmgabel übereinstimmt, hierauf stelle man neben diese Röhre die Windröhre der Sirene und indem man den Luftdruck des Blasbalges durch aufgelegte Gewichte modificirt, so gelangt man dahin, die Sirene mit der benachbarten Röhre in Uebereinstimmung zu bringen und diese Uebereinstimmung einige Minuten lang zu erhalten. So wie diese Uebereinstimmung eingetreten ist, muß man, während die Töne hervorgebracht werden, zugleich gegen den Knopf des Zählers der Sirene drücken, damit das Rad eingreift und gegen den Knopf eines guten Chronometers, um die Zeit zu messen; darauf muß man, nachdem etwa zwei Minuten lang der Einklang aufmerksam gehört worden ist, gleichzeitig den Zähler und das Chronometer anhalten. Auf diese Weise erhält man durch den Zähler die Anzahl der Schwingungen und durch das Chronometer die verfllossene Zeit, woraus man mit Leichtigkeit abnehmen kann, wie viele Schwingungen auf eine Secunde kommen. Bei einigen Versuchen brachte Gagniard de la Tour die Sirene auf ein Gasometer und unterhielt die Gleichförmigkeit der Bewegung durch verschieden verbundene Flügel. Dieses Verfahren ist aber weniger

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 596.

einfach und sicher als das vorerwähnte. Uebrigens kommt man immer zu demselben Resultate, nämlich daß das a der gewöhnlichen Stimmgabel 427 Schwingungen in der Secunde entspricht.

Ghladni schlug folgendes Verfahren ein, um die absolute Anzahl von Schwingungen zu ermitteln *): Er nahm einen Stab oder Streifen Eisen oder Messing, soviel als möglich überall von gleicher Dicke, etwa 2 Ellen lang, einen halben Zoll breit und beinahe eine Linie dick, und spannte ihn in einen ganz unbeweglichen Schraubenstock so weit ein, daß das hervorragende Ende in einer Secunde vier Schwingungen machte. Diese Schwingungen sind langsam genug, um sie mehrere Minuten lang mit Genauigkeit zählen zu können. Die Länge wurde genau gemessen, der Stab locker gemacht und tiefer in den Schraubenstock eingeschoben, bis seine schwingende Länge soweit vermindert war, daß der entstehende Ton $\frac{1}{2}$ W. mit der Stimmgabel in Einklang war. Wißt man jetzt die Länge des schwingenden Theiles aufs Neue, so erhält man die Anzahl der Schwingungen durch den Vergleich dieses zweiten Versuches mit dem ersten nach dem Gesetze, daß die Anzahl der Schwingungen im umgekehrten Verhältnisse mit dem Quadrate der Länge steht. Der Ton ist anhaltender und leichter zu vergleichen, wenn man ihn mit Hilfe eines Violinbogens erhält, aber man muß sehr darauf achten, daß der Stab wirklich in seiner ganzen Länge schwingt und keine Schwingungsknoten in ihm erzeugt werden.

Sauveur wendete zu gleichem Zwecke das sogenannte Schlagen oder Stoßen an und zwar zu einer Zeit, zu welcher man weder die Gesetze der Schwingungen der Saiten, noch die der Schwingungen der Stäbe kannte, indem er sich der Röhren bediente **). Nehmen wir mit Sauveur an, daß man drei Röhren von mehreren Fuß Länge habe und daß man sie so in Einklang bringe, daß die erste mit der zweiten die Terz C-E und mit der dritten die kleinere Terz C-Es gebe. Dann ist die Anzahl der Schwingungen von C = 1 oder $\frac{30}{30}$, die von E = $\frac{5}{4}$ oder $\frac{25}{20}$ und die von Es = $\frac{5}{4} \times \frac{24}{25} = \frac{24}{20}$. Läßt man nun zugleich E und Es tönen, so hört man sehr deutlich Stöße in Zwischenräumen, so daß man sie mehrere Minuten lang zählen kann. Gezeigt man zähle 480 in zwei Minuten, so giebt dies vier Schläge in einer Secunde, d. h. E und Es begegnen sich viermal oder ihre Schwingungen fallen viermal zusammen in einer Secunde. Da nun zu einer Begegnung 25 Schwingungen von E und 24 Schwingungen von Es nöthig sind, so macht E 100 Schwingungen in einer Secunde und Es nur 96, folglich C deren nur 80. In dieser Voraussetzung sind dieses die Schwingungszahlen, welche dieselben Töne entsprechen; man braucht folglich nur die Stelle zu kennen, welche dieselben in der Tonleiter einnehmen, um daraus alsdann die absoluten Schwingungszahlen aller Töne abzuleiten. — Sarti wiederholte 1796 die Versuche Sauveur's; später schlug auch Hallström ***) denselben Weg ein.

Mit Hilfe der Saiten die Schwingungszahl der Töne zu bestimmen, hat Merenne versucht; aber man kannte damals die allgemeine Formel von Lailor noch nicht, welche das Verhältniß zwischen der Dauer der Schwingungen, der Saitenlänge, ihrem Gewichte und ihrer Spannung ausdrückt. Diese Formel ist

*) Die Musik von Ghladni. 1802. S. 35.

**) Hist. de l'Acad. de Paris 1700. p. 134.

***) Poggend. Ann. Bd. XXIV. S. 438.

$$n = \sqrt{\frac{2gP}{CL}}$$

Hierin bezeichnet n die Anzahl der Schwingungen in einer Secundestheil-Secunde, g die Intensität der Schwere $= 4^m,90448$ (s. Art. Schwere, Bd. V. S. 794), P das Gewicht, welches die Saite spannt, L die Länge der Saite, C das Gewicht der Länge L der Saite. Man sieht hieraus, daß, um durch Rechnung die Anzahl der Schwingungen, welche eine Saite bei Erzeugung eines gewissen Tones macht, zu finden, man nur das Gewicht P , welches ihm Spannung giebt und den Abstand L zweier Stege zu kennen braucht, da man den Werth von C leicht ableiten kann, wenn man nur ein beliebig langes Stück der Saite gewogen hat.

Svanberg *) hat ein Verfahren angegeben, um mittelst des Monochords (s. d. Art.) die absolute Anzahl der Schwingungen gegebener Töne zu finden.

Dem eingestrichenen a , dem Tone, welchen die leere a -Saite einer Violine oder die gewöhnliche Stimmgabel geben soll, kommen nach L. Euler in einer Secunde 784 einfache Schwingungen zu; nach Chladni 853,34; nach Dulong 834; nach Sauveur und Sarti 872; nach W. Weber 864; nach Hallström 896; nach Scheibler 870, oder 878,67 bis 878 $\frac{2}{3}$. Nach Fischer macht das eingestrichene a der Berliner Orchesterstimmung 874 einfache Schwingungen, der Orchesterstimmung an der großen Oper zu Paris 862, an dem Theater Feydeau 856 und an dem italienischen Theater in Paris 848.

Die männliche Stimme erstreckt sich im Allgemeinen von G bis f , die weibliche von d bis a . Hiernach macht die Stimme des Mannes, wenn man für das tiefe C des Pianoforte oder des Violoncello 128 einfache Schwingungen annimmt, wenigstens 192, höchstens 683 und die der Frau wenigstens 576 und höchstens 1706 einfache Schwingungen.

Die höchsten Töne, welche wir zu hören vermögen, sind diejenigen, welche z. B. bei der Flügelbewegung gewisser Insecten entstehen. Diese erheben sich ohne Zweifel bis zu mehr als 12 oder 15000 Schwingungen in der Secunde. Der tiefste in der Musik zur Verwendung kommende Ton ist derjenige, welchen eine offene Orgelpfeife von 32 oder eine gedeckte von 16 Fuß giebt. Diesem Tone kommen ungefähr 32 einfache oder 16 doppelte Schwingungen zu. Ist die Wellenlänge die Länge einer Doppelschwingung, so hat die gedeckte 16füßige Pfeife einen Ton, dessen Wellenlänge 4 mal soviel als die Länge der Pfeife, also 64 Fuß beträgt. Nehmen wir die Schallgeschwindigkeit zu 1050 Fuß an, so kommen demnach auf eine Secunde $\frac{1050}{64}$, d. h. $16\frac{13}{32}$ Schwingungen. Im Ganzen erstrecken sich die in der Musik zur Anwendung kommenden Töne über 9 Octaven. Der eben erwähnte tiefste Ton wird mit c bezeichnet. Nehmen wir für diesen Ton 32 einfache Schwingungen an, so erhalten wir für die aufeinander folgenden Octaven, da $32 = 2^5$ ist, folgende Schwingungszahlen:

$$\begin{aligned} c 2^5 &= 32; c 2^8 = 256; c 2^{11} = 2048 \\ c 2^6 &= 64; c 2^9 = 512; c 2^{12} = 4096 \\ c 2^7 &= 128; c 2^{10} = 1024; c 2^{13} = 8192 \\ &\text{und das 6 gestrichene } c 2^{14} = 16384. \end{aligned}$$

*) Vergl. Poggend. Ann. Bd. LXXXII. S. 127.

Ihre Bezeichnung mit Noten würde folgende sein:



Im Deutschen bezeichnet man bekanntlich die Töne der Octave mit C, D, E, F, G, A, H, c . . . In Italien nennt man die 6 ersten Töne der diatonischen Tonleiter ut, re, mi, fa, sol, la, welche Namen Guido von Arezzo im 11. Jahrhundert eingeführt und aus den ersten Sylben der halben Verse des folgenden Gesanges an Johannes den Täufer entlehnt hat:

*Ut queant laxis resonare fibris
Mira gestorum famuli tuorum
Solve polluti labii reatum
Sancte Ioannes.*

Wenn diese Sylben zur Erlernung des Singens gebraucht werden, so wird do statt ut gesungen. Das Intervall eines großen halben Tones wird mi fa gesungen und der vorhergehende Ton mit re. Deshalb kann unser G bald sol, bald re, bald ut sein, je nachdem das Intervall E zu F, oder A zu B, oder H zu C mit mi fa bezeichnet ist. Die Italiener bezeichnen also mit ut, re, mi, fa . . . nur die Intervalle; unsere Töne nennen sie C, D, E, F, G, A, B, c, fügen aber die Sylben bei, durch welche die Tonlage charakterisirt wird, so daß also z. B. unser C genannt wird C sol fa ut. Die Erhöhung um einen halben Ton drücken sie durch diesis und die Erniedrigung durch bemolle aus, so daß also cis heißt C sol fa ut diesis und Des ebenso De la sol re bemolle.

In Frankreich werden unsere Töne C, D, E, F, G, A, H, c selbst durch ut, ré, mi, fa, sol, la, si ausgedrückt, und eine Erhöhung durch dièse, eine Erniedrigung durch bémol bezeichnet, so daß also Cis durch ut dièse und Des durch ré bémol ausgedrückt wird. Sollte die Bezeichnung si für H etwa aus dem S von Sancto und dem J von Joannes zusammengesetzt sein?

Im Englischen und Holländischen bedient man sich der Benennung c, d, e, f, g, a, b, c; die Erhöhung drückt man im Englischen durch sharp, im Holländischen durch kruis aus, und die Erniedrigung im Englischen durch flat, im Holländischen durch mol.

Der tiefste in der Musik zur Verwendung kommende Ton ist nicht der tiefste, welchen das menschliche Ohr überhaupt hören kann. Savart hat gezeigt, daß bei 7 bis 8 Schwingungen in einer Secunde ein noch deutlich vernehmbarer Ton entsteht. Ebenso gelang ihm der Nachweis, daß 24000 Schwingungen in einer Secunde einen wenigstens feinen, aber doch hörbaren Ton geben. Selbst jenseits dieser Grenzen dürfte es noch Töne geben, deren Wahrnehmbarkeit jedoch wegen ihrer geringen Intensität sehr schwierig ist; so wie auch die Aetherschwingungen nicht auf die Farben des Spectrums beschränkt sind.

Töne werden auf sehr verschiedene Art erregt. Es kommt ja überhaupt nur darauf an, daß eine gewisse Anzahl von Wellenschlägen in dem tonerregenden und tonfortpflanzenden Mittel hervorgerufen wird. Die bereits erwähnten Sirenen geben hierfür den thatsächlichen Anhalt. Nothwendige Bedingung ist ein gewisser Grad der Elasticität des tonerregenden Körpers, so zwar, daß je vollkommener elastisch ein Körper ist, er auch zur Tonerzeugung um so geeigneter wird. Blei ist z. B. ein schlechter Tonerzeuger, wohl aber Stahl ein sehr guter. Die tropfbaren Flüssigkeiten sind, wenngleich ihnen die Elasticität nicht mangelt, doch weil zu ihrer Volumenveränderung eine ganz bedeutende Kraft erforderlich ist, weniger zur Tonerzeugung geeignet. Es ergiebt sich somit, daß bei der Erzeugung von Tönen nur elastische feste Körper und die sogenannten elastischen Flüssigkeiten, und unter diesen wieder vorzugsweise die atmosphärische Luft, vorzugsweise in Betracht kommen können.

Wir müssen hier wegen des Näheren der eigenthümlichen Schwingungen klingender Körper auf den Artikel *Wellenbewegung* verweisen. Hier sei nur erwähnt, daß *Gladst* *) bei den festen Körpern unterscheidet, ob sie durch Spannung oder durch innere Steifheit elastisch, ob sie fadenförmig oder membranförmig sind, ob die fadenförmigen in transversale oder longitudinale Schwingungen versetzt werden, wobei er überdies noch bei Stäben drehende Schwingungen der Untersuchung unterwirft. Den vierten Abschnitt hat derselbe den Schwingungen gewidmet, bei welchen die Luft als selbstklingender Körper in Betracht kommt.

Fassen wir hier noch das ins Auge, was sich lediglich auf die durch die Schwingungen hervorgebrachten Töne bezieht, so ist in Betreff der gespannten Saiten dem bereits oben Erwähnten nichts mehr hinzuzufügen, soweit dabei transversale Schwingungen zu Grunde liegen. Longitudinale Schwingungen erzeugen Töne, welche höher sind, als diejenigen, welche dieselbe Saite bei transversalen Schwingungen hervorbringt. Die Höhe des Tones hängt auch hier ab von der Saitenlänge und steht mit derselben in umgekehrtem Verhältniß. Einen wesentlichen Einfluß übt die Substanz der Saite aus, weniger kommt die Stärke der Spannung und der Durchmesser in Betracht. Nach den Untersuchungen der Gebrüder *Weber* **) bewirkt die vermehrte Spannung allerdings eine Tonerhöhung, ohne daß es jedoch gelungen ist, ein bestimmtes Verhältniß zu ermitteln. Eine Stahlsaite gab bei gleicher Länge und Spannung einen ungefähr um eine Quirte höhern Ton, als eine Messingsaite, und diese wieder einen ungefähr um eine Sexte höhern Ton, als eine Darmsaite. Nach *Cagniard de la Tour* wird der durch longitudinale Vibration eines Metalldrahts erzeugte Ton durch Härten mittelst kalten Hammers weder tiefer, noch höher. Hingegen giebt ein durch Lösen gehärteter Stahldraht, longitudinal schwingend, einen tiefern Ton, als ein ungehärteter. In geringerem Grade findet dies auch bei Eisen statt.

Für schwingende Stäbe hat *Gladst* ***) die mit der Erfahrung übereinstimmenden Gesetze gegeben. Hiernach ist bei Stäben aus einerlei Materie, wenn sie in gleicher Art transversal schwingen, die Anzahl der Schwingungen in einer

*) Die Akustik, zweiter Theil.

**) Wellenlehre, S. 383.

***) A. a. O. S. 101.

Secunde = $\frac{D}{L^2}$, wo D die Dicke und L die Länge bedeutet. Die Töne sind also um so höher, je dicker die Stäbe sind, so daß z. B. ein Stab, der noch einmal so dick ist, als ein anderer, Töne giebt, die um eine Octave höher sind. Wenn die Stäbe nur in Ansehung der Länge verschieden sind, so verhalten sich die Töne umgekehrt wie die Quadrate der Längen, so daß z. B. ein Stab, der noch einmal so lang ist, als ein anderer, Töne giebt, die um zwei Octaven tiefer sind. Die Breite trägt nichts oder fast gar nichts zur Bestimmung der Töne bei; nur die Stärke des Klanges nimmt mit der Breite zu.

Chladni macht hierbei darauf aufmerksam, daß die Erzählung, Pythagoras habe die Töne der Hämmer in einer Schmiede mit ihrer Schwere übereinstimmend gefunden, der Natur nicht gemäß sei. Er fand vielmehr, daß, wenn Stäbe oder überhaupt steife Körper, die aus einerlei Materie bestehen, an Gestalt einander vollkommen ähnlich und nur an Größe verschieden sind, so daß alle Dimensionen in einerlei Verhältnisse zu- oder abnehmen, sich die Töne bei einerlei Schwingungsart umgekehrt wie die Cubikwurzeln der Schwere verhalten.

Bei einerlei longitudinaler Schwingungsart verhalten sich die Töne mehrerer aus einerlei Materie bestehender Stäbe umgekehrt wie deren Längen. Auf die Dicke eines Stabes kommt hierbei gar nichts an, destomehr aber auf Verschiedenheit der Materie. Alle durch longitudinale Schwingungen fester Körper entstehenden Töne sind viel höher, als der Ton einer ebenso langen Luftstrecke in einer offenen Pfeife. Der Unterschied aller Longitudinaltöne fester Körper von den weichsten und zähesten bis zu den sprödesten beträgt höchstens etwa eine Octave und eine große Terz. Um wenigstens Einiges specieller anzuführen, sei Folgendes bemerkt. Ist der longitudinal schwingende Stab ganz frei, d. h. läßt man ihn durch sein eigenes Gewicht zwischen dem reibenden Lämpchen herabgleiten — was jedoch nicht ohne Schwierigkeit gelingt —, so erhält man denselben Ton, als wenn man ihn in der Mitte hält. Wird der Stab ungefähr im vierten Theile seiner Länge gehalten und in der Mitte oder nahe am anderen Ende gerieben, so giebt er die Octave des vorigen Tons. Faßt man den Stab ungefähr am sechsten Theile seiner Länge, so erhält man die Quinte u. s. f. Die Töne stehen also in dem Verhältnisse von 1, 2, 3, 4, 5. . . . Wird der Stab an dem einen Ende unbeweglich befestigt und nahe am andern Ende gestrichen, so erhält man einen Ton, der um eine Octave tiefer ist, als wenn man ihn in der Mitte hält. Sucht man durch Berührung an verschiedenen Stellen noch andere Töne hervorzubringen, so erhält man eine Reihe von Tönen, welche nach den ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7 . . . fortschreiten.

Töne durch drehende Schwingungen hat Chladni *) zuerst hervorgebracht. Es ergaben sich als am geeignetsten cylindrische Stäbe mit recht glatter Oberfläche, und zwar wurden die Töne hervorgerufen durch ein fast eben solches Reiben, wie bei den Longitudinalschwingungen, nur mit dem Unterschiede, daß es nicht nach der Richtung der Länge, sondern links oder rechts in einer drehenden Richtung geschehen muß. Den Stab kann man hierbei an einer Stelle, wo ein Schwingungsknoten ist, mit zwei Fingern halten. Chladni fand den Ton um

*) A. a. O. S. 110.

eine Quinte tiefer, als wenn der Stab bei gleichartigen Longitudinalschwingungen ertönt. Munké *) behauptet, daß nach seinen Untersuchungen, bei denen er einen geübten Musiker zu Hilfe zog, der Unterschied eine Serte betrage. Poisson's Untersuchungen **) scheinen für Munké's Resultat zu sprechen, und auch W. Weber's Erfahrungen ***) stimmen damit überein.

Das eben Angeführte bezog sich auf gerade Stäbe. Chladni ****) hat auch die Töne gekrümmter Stäbe untersucht, und es müssen hier wenigstens die einer Gabel und eines Ringes hervorgehoben werden.

Was zunächst die Gabel, resp. Stimmgabel, betrifft, so ist der Ton ungefähr um eine kleine Serte tiefer, als der tiefste Ton ebendesselben Stabes, wenn er gerade und ganz frei ist. In diesem Falle sind die beiden vorhandenen Schwingungsknoten einander so nahe, daß man sie für ziemlich zusammenfallend halten könnte. Erhält die Gabel 4 Schwingungsknoten, so ist der Ton um zwei Octaven und eine übermäßige Quinte höher, als im vorhergehenden Falle. Das Verhältniß beider Töne ist 4 zu 25. Bei 5 Schwingungsknoten ist der Ton um eine kleine Septime, nämlich 9 zu 16, höher, als der zweite; bei 6 Schwingungsknoten nimmt der Ton beinahe um eine kleine Serte (16 zu 25) zu; bei 7 Schwingungsknoten wieder um eine verminderte Quinte, nämlich 25 zu 36 u. s. w. Von da an gerechnet, wo die Gabel 4 Schwingungsknoten erhält, ist die Reihe von Tönen eben dieselbe, als wenn ein solcher Stab gerade und an beiden Enden angestemmt wäre. Auch sind die Töne, bei welchen in der Mitte zwei Schwingungsknoten sehr nahe bei einander sind, eben dieselben, wie die Töne eines an dem einen Ende befestigten Stabes, der transversal schwingt, nur um zwei Octaven höher. Daß diese Verhältnisse nicht ganz constant sein können, liegt in der Natur der Sache. Henry hat daher †) verschiedene Stimmgabeln untersucht und allerdings Abweichungen gefunden, welche ihn sogar veranlaßt haben, die Nebentöne der Stimmgabeln für eine secundäre Erscheinung zu erklären. Im Anfange geben Stimmgabeln meist einen etwas tieferen Ton als später ††). Sind die Schenkel genau parallel, so ist dies nach Scheibler nicht der Fall †††). Eine durch kaltes Hämmern gehärtete Stimmgabel giebt einen tieferen Ton, als eine angelassene sonst ganz übereinstimmende.

Bei einem Ringe, z. B. aus etwas starkem Draht von Messing, der an seinen Enden mit Schlagloth sauber zusammengelöthet wird, an drei Stellen, wo Schwingungsknoten sind, auf nicht zu harten Unterlagen ruht und in der Mitte eines schwingenden Theiles mit dem Violinbogen gestrichen wird, verhalten sich die Töne wie die Quadrate von 3, 5, 7, 9 . . . Ein Ring, dessen tiefster Ton das ungestrichene c ist, wird bei seinen übrigen Schwingungsarten folgende Töne geben:

*) Gehler's phys. Wörterb. Neue Bearb. Bd. VIII. S. 215.

**) Poggend. Annal. Bd. XIII. S. 383.

**) Ebend. Bd. XIV. S. 175.

***) A. a. O. S. 111.

†) Poggend. Annal. Bd. LVIII. S. 265.

††) W. Weber in Poggend. Annal. Bd. XIV. S. 307.

†††) Ueber die Schwingungen von Stäben vgl. auch Strehlke in Poggend. Annal. Bd. XXVII. S. 503; Bd. XXVIII. S. 512.

Zahl der Schwingungsknoten:	4	6	8	10	12	14
Töne:	c	fis	lis-	dis-	a	dis
Zahlen, mit deren Quadraten die Töne übereinkommen:	3	5	7	9	11	13

X. Euler's und Golowin's theoretisch gefundene Resultate *) sind der Erfahrung nicht gemäß.

Die Töne elastischer Scheiben haben durch die Chladni'schen Klangfiguren ein besonderes Interesse erhalten. Das Nähere enthält Artikel Wellenbewegung, und es sei daher hier nur bemerkt, daß bei einem deutlich vernehmbaren Tone jederzeit eine Figur entschieden zum Vorschein kommt, die um so zusammengesetzter wird, je höher der Ton ist. Ist der Ton nicht rein, so bildet sich auch nicht die Figur. Will man aus verglichenen Scheiben mit dem Violinbogen Töne hervorrufen, so muß derselbe gegen den Scheibenrand senkrecht geführt werden und darf nicht von der Stelle gleiten. Langsame Striche mit schwachem Druck geben tiefe Töne; schnelle Striche mit starkem Drucke hohe. Das Gesetz zwischen den zusammengehörigen Figuren und Tönen ist noch nicht in voller Schärfe entdeckt. Was Chladni in dieser Beziehung versucht hat, ist in dessen Akustik S. 138 nachzusehen. Das Problem der Schwingungen elastischer Scheiben analytisch zu lösen, ist noch nicht einmal gelungen, ungeachtet Jac. Bernoulli **), Dan. Bernoulli ***), und Poisson ****), ebenso eine Demoiselle Germain *****) den Gegenstand behandelt haben.

Eine Glocke läßt sich als eine festzusammenhängende Verbindung von elastischen Stäben oder als ein festverbundenes Aggregat von elastischen Ringen betrachten. Was bei elastischen Stäben und Ringen eine Aenderung des Tons hervorbringt, wird auch auf den Ton der Glocken von Einfluß sein. Da nun ein gekrümmter Stab eine Tonerniedrigung erleidet, wenn er an seiner Biegungsstelle dünner gemacht wird, so wird auch der Ton einer Glocke tiefer, wenn man zunächst der Haube die Wand im Durchschnitte verdünnt. Bei einem elastischen Ringe wird der Ton tiefer, wenn man ihn an seiner innern Fläche dünner macht, folglich wird auch bei einer Glocke eine Tonerniedrigung eintreten, wenn man an der innern Fläche ihres Schlagringes die Masse verringert. Den tiefsten Ton giebt eine Glocke, wenn sie nur an einer Stelle angeschlagen wird. Hierbei erhält dieselbe 4 um 90° von einander absteigende Knotenlinien. Theilt sich die Glocke in 6, 8 . . . schwingende Theile, so wird der Ton höher und im Allgemeinen verhalten sich die Tonwerthe wie die Quadrate der Zahlen 2, 3, 4, 5 Füllt man ein glockenförmiges Gefäß mit verschiedenen Flüssigkeiten, so wird beim Anschlagen oder Streichen der Ton desto tiefer, je dichter die Flüssigkeit ist †). Ist die Wand einer Glocke durchweg gleich dick, so wird der Ton derselben erhöht, wenn man die Glockenwand verkürzt. Ueberrifft die Dicke des Glockenrandes oder des Schlagringes jene der

*) Nov. Comm. Pet. T. X; Acta Acad. Petr. Ann. 1779 und 1791. P. II.

**) Nov. Act. Acad. Petrop. 1787. T. V. p. 197.

***) Comment. Petrop. T. XII. p. 103 und 167.

****) Mém. de l'Institut. T. VIII. p. 323.

*****) Chladni, neue Beitr. zur Akustik. S. 8.

†) Savart, Ann. Ch. Phys. T. XIV. p. 169.

oberen Glockenwand, so hat die Verkürzung eine Tonerniedrigung zur Folge. Um den Ton einer Glocke zu erhöhen, wird man zunächst durch ein gehöriges Abdrehen der Glocke eine möglichst gleichförmige Dicke zu geben suchen und dann die Glockenwand vom Rande an aufwärts dünner machen oder letzteren verkürzen. Ein anderes Mittel, den Ton einer Glocke zu erhöhen, besteht darin: daß man den inneren Raum derselben theilweise mit einer festen Masse ausfüllt, wodurch im Grunde die zur Glocke vereinigten Stäbe verkürzt werden. Sollen mehrere Glocken zugleich gegossen werden und im Einklange stehen, so gehört dazu dieselbe Gußmasse ($21\frac{1}{2}$ Theil Zinn, 2 Blei, $21\frac{1}{2}$ Nickel und 74 Kupfer) und eine proportionirte Form der einzelnen Glocken. Legt man die den tiefsten Ton gebende Glocke als Einheit zu Grunde und will man den Dur-Accord erhalten, so ist die folgende Glocke im Verhältnisse $\frac{4}{5}$, die dritte im Verhältnisse $\frac{2}{3}$ zu construiren. Der Moll-Accord dürfte für die religiöse Erbauung den Vorzug verdienen und mithin würden die Verhältnisse $\frac{5}{6}$ und $\frac{2}{3}$ zu wählen sein.

Streicht man Glasglocken oder überhaupt gläserne Gefäße am Rande mit dem feuchten Finger, so erhält man einen durchdringenden, schneidenden Ton. Nach Tomlinson *) erleidet dieser Ton in seiner Höhe Veränderungen, wenn das Gefäß bis zu verschiedener Tiefe mit einer bestimmten Flüssigkeit gefüllt wird. Er fand, daß in jedes Glasgefäß bis zu einer bestimmten Höhe eine Flüssigkeit eingegossen werden kann, ohne daß der Ton merklich geändert wird. Diese Höhe ist in demselben Glase für verschiedene Flüssigkeiten verschieden. Tomlinson nennt die Begrenzungslinie der Flüssigkeit dann die Vibrationsare. Der Ton wurde stets erniedrigt mit steigender Höhe der füllenden Flüssigkeit.

Gespannte Membranen, wie bei den Pauken und Trommeln, geben nur unvollkommene Töne und ist im Ganzen nur zu bemerken, daß der Ton um so höher wird, je mehr die Spannung wächst.

Tropfbare Flüssigkeiten hat Cagniard de la Tour zum Tönen gebracht **). Vermittelt einer durch einen Kautschukbeutel unter Flüssigkeiten angeblasenen Pfeife fand er, daß bei einer 20 Zoll langen Säule reines Wasser 1478 Schwingungen in der Secunde macht, Alkohol von 30° B. 1400, Chlorcalciumlösung von 13° B. 1488, Schwefelsäure von 66° B. 1280, Salzsäure von 21° B. 1472, Quecksilber 640. Dies gab einen trompetenartigen Ton. Der Ton einer durch eine mit Wasser gefüllte Pumpe in Bewegung gesetzten Sirene ward viel stärker vernommen, wenn bei gleichbleibendem Abstände des Ohres von derselben das Ohr untergetaucht war, als wenn der Ton aus dem Wasser vermittelt der Luft das Ohr erreichte. Mit zunehmender Tiefe des Eintauchens des Ohres änderte sich die Stärke des Tones nicht merklich. — Eine an einem Ende nach Art eines Probirgläschens zugeschmolzene Glasröhre (tube éprouvette) wurde mit Wasser gefüllt und das Glas mit einem nassen Luche longitudinal gerieben; es entstand ein Ton, welcher hauptsächlich von den longitudinalen Schwingungen der Wassersäule herrührt. Ist die Röhre an beiden Enden offen, so ist der Ton eine Octave höher;

*) Dove's Repertor. Bd. III. S. 97.

**) Berzelius Jahresbericht. Bd. XII. S. 4; Poggenb. Annal. Bd. XXVI. S. 382; Ann. de Chim. et de Phys. T. LVI. p. 280; Dove's Repert. Bd. III. S. 96 und Bd. VI. S. 68.

dies ist nicht dadurch zu erreichen, daß man die Röhre ganz in Wasser taucht und reibt, wohl aber dadurch, daß sie zu einem Heber mit gleichen Schenkeln gebogen wird. Ein solcher Heber giebt, wenn beide Enden offen sind, einen Ton, der eine Octave höher ist, als der eines gleichen Hebers, dessen eines Ende zugeschmolzen ist. — Eine gerade Gyprouettenröhre von 1 Meter Länge giebt mit Wasser gefüllt ungefähr 385 (ganze) Schwingungen; ein an beiden Enden offener Heber oder eine Wasserpfeife (eine Glasröhre, deren eines Ende zu einer engen Oeffnung zusammengezogen ist, durch welche die Flüssigkeit gepreßt wird) geben im Mittel ungefähr 775 (ganze) Schwingungen. Beide Töne sind etwas höher, als die, welche man aus Colladon und Sturm's Bestimmung der Schallgeschwindigkeit im Wasser berechnen würde, der erste ungefähr um einen ganzen, der andere um einen halben Ton. Demnach wird der Ton beim Wasser etwas tiefer, wenn das Glas dicker ist, hingegen ist er beim Quecksilber im dickeren Glase merklich höher als im dünneren. — Dichtere Flüssigkeiten als Wasser geben theils tiefere, theils höhere Töne; ebenso dünnere, z. B. Weingeist von 22° höhere, dagegen Alkohol von 36° tiefere. Auch Gölée in einer Gyprouettenröhre tönnte. — Die Röhre kann länger sein, als die Flüssigkeitssäule; ist sie viel länger, so macht sie den Ton beim Wasser tiefer. Hat in solchem Falle die über dem Wasser befindliche Luftsäule denselben Ton wie die Wassersäule, so spricht der Ton leichter und besser an. — Verlängert man die Gyprouettenröhre durch eine mit Kautschuk angebundene Röhre, die ebenfalls mit Wasser gefüllt ist, so wird dadurch der Ton fast gar nicht geändert, so daß die Schwingungen an der Kautschukverbindung eine Grenze zu finden scheinen. — Unter dem Drucke eines mit comprimierter Luft gefüllten Reservoirs tönnte die Wassersäule der Gyprouette höher.

Wenn man die Gyprouette durch einen Stoß oder Schlag gegen das eine Ende in stärkere Schwingungen versetzt, so bemerkt man in der Flüssigkeit kleine Bläschen, die in ausgekochtem Wasser ganz oder fast ganz wieder verschwinden, in ungekochtem dagegen Luftbläschen hinterlassen. Gagniard de la Tour hält jene ersten für fast leere Räume, die sich bei der Ausdehnung im Wasser bilden, und die Stöße, die durch das Zusammenschlagen der Wassertheile bei ihrem Verschwinden entstehen, für die eigentliche Ursache des Tones. Diese Ansicht scheint jedoch nicht ganz stichhaltig zu sein. Ein größerer oder geringerer Luftgehalt kann schon diese Verschiedenheit bewirken, denn es scheint das Wasser leichter zu schwingen, wenn es nur wenig Luft enthält, oder wenn ihm feste Theilchen beigemengt sind, schwerer dagegen, wenn ihm Luft reichlicher beigemengt ist. Rasses Quecksilber schwingt schwerer, als trockenes, und Wasser, welches Luft absorbirt enthält, ist nach Colladon und Sturm weniger zusammendrückbar, als lufthaltiges, muß also einen höheren Ton geben.

Elastische Flüssigkeiten geben Töne, wenn sie in Röhren eingeschlossen sind und in stehende Schwingungen versetzt werden. Es kann dies geschehen durch Hineinblasen an dem einen Ende der Röhre, wie bei der Trompete, oder indem man am offenen Ende einen Luftstrom vorbeistreichen läßt, wie bei der Flöte, oder indem man ein elastisches Blättchen in Schwingungen versetzt, welche auf die eingeschlossene Luft Schwingungen erregend einwirken, wie bei der Klarinette. Wegen der Art der Schwingungen verweisen wir auf Art. Wellenbewegung; nur das sei schon hier bemerkt, daß nach Fremont's Untersuchungen mittelst

Tabakstrauch, welchen er in die Röhre füllte, die tönende Bewegung in Spiralen erfolgt *).

Fig. I.



Fig. II.



Der Ton hängt ab von den Dimensionen der Röhre, von der Temperatur, indem diese auf die Schallgeschwindigkeit einen Einfluß ausübt, und von der Schwingungsdauer der in der Röhre befindlichen Luftsäule. Ob die Röhre in der Hand gehalten wird oder nicht, ist ohne Einfluß auf den Ton; auch das Material des Rohres ist in Hinsicht der Tonhöhe gleichgültig, falls die Wände nicht sehr dünn sind, wohl aber wird der Klang bei Röhren aus verschiedenen Stoffen verschieden, weniger wohl in Folge eines Winklings, als der verschiedenartigen Reibung an den Wänden, durch welche die Bewegung eine Aenderung erleiden dürfte. Die verschiedene Art des Anblasens und die Größe des Rundlochs sind ebenfalls zu berücksichtigen, wie schon das Pfeifen mit dem Munde zeigt. Je kräftiger der Luftstrom ist, welcher dem Munde entströmt, desto höher wird der Ton bei derselben Rundöffnung, und ebenso je enger diese wird bei gleichbleibender Stromstärke. Ein fernerer Unterschied des Tones ist dadurch bedingt, ob die Röhre an dem einen Ende ganz oder theilweise geschlossen (gedeckt oder gedackt) oder beiderseits offen ist.

Um bessere Anschauung zu gewinnen, legen wir eine Pfeife, wie nebenstehende Fig. I. zeigt, und eine Labialpfeife oder Flötenwerk, von welcher die Figur II. einen Durchschnitt giebt, zu Grunde. In Fig. I. bringt der Fuß PP' den Wind durch das Windloch l'; der Aufschnitt hh' hat sein unteres Labium (untere Lippe) am Rande h des Windlochs, und sein oberes Labium (obere Lippe) am Kerne h'. Bei Fig. II. ist der Fuß PP' hohl und das Windloch ll', welches den Wind bringt, endet in der Platte, welche die große Basis des Fußes verschließt, in eine Spalte l'; der Aufschnitt ist mehr oder weniger geöffnet, d. h. das obere Labium h' ist mehr oder weniger entfernt; zuweilen ist dieses Labium beweglich, um nach Belieben genähert oder entfernt zu werden. Im Inneren des Fußes ist gewöhnlich ein keilförmiges Stück angebracht, wenigstens bei den hölzernen Labialpfeifen, durch welches der Luftstrom nach der Spalte l' hingelenkt wird.

Nehmen wir zunächst an, daß die Pfeife offen sei und daß sie überall denselben Durchmesser habe, so wird man ihr verschiedene Töne entlocken können, indem man ihr den Wind mit mehr oder weniger Gewalt giebt, und wenn es nöthig ist, die Breite des Aufschnittes ändert. Bezeichnet man den Grundton, d. h. den tiefsten Ton, welchen die

*) Voggend. Ann. Bd. LXII. S. 576; vergl. was hierüber R. Seebeck in Doves' Report. Bd. VIII. S. 16 sagt.

Pfeife geben kann, mit 1, so werden die übrigen Töne die Reihe der natürlichen Zahlen 1, 2, 3, 4 . . . befolgen, und man wird durch kein Mittel einen Ton zu erzeugen vermögen, welcher zwischen den angegebenen liegt. Wir erhalten also die oben bereits berechneten harmonischen Töne, und bemerken hier nur noch, daß wenn ein Trompeten- oder Waldhornbläser den Ton 7 nicht leicht hervorbringt, dies jedenfalls darin seinen Grund hat, daß beide Instrumente diesen Ton in der That nicht gebrauchen können, und so auf denselben auch nicht eingeübt sind. Im Allgemeinen geben alle cylindrischen oder prismatischen Röhren von derselben Länge denselben Grundton und dieselbe Reihe von Tönen 2, 3, 4 . . ., vorausgesetzt, daß, ihre Länge zehn- oder zwölfmal so groß als ihr Durchmesser ist, und daß die Materie, aus welcher sie bestehen, eine geeignete Steifheit hat. Nur wenn die Röhren sehr dünn sind, werden sie fast immer den Ton 2 und die folgenden geben, aber es wird sehr schwer sein, aus ihnen den Grundton zu ziehen. Wenn die Röhre den Ton 2 giebt, so kann man sie in der Mitte durchschneiden und ihre obere Hälfte wegnehmen, ohne daß der Ton die geringste Veränderung erfährt; giebt sie den Ton 3, so kann man sie ebenso in drei Theile zerlegen und ein Drittel oder sogar die zwei oberen Drittheile hinwegnehmen u. s. f. Diese Versuche und die Theorie der Blasinstrumente rühren von Daniel Bernoulli her.

Ist die Röhre am oberen Ende vollständig geschlossen (gedeckt), so giebt sie bei schwachem Anblasen den tiefsten Ton, den wir als Grundton mit 1 bezeichnen wollen. Vermehrt man allmählig die Kraft des Stromes, so erhält man nach einander die Töne 3, 5, 7 . . . Eine geschlossene Röhre von gleichbleibender Länge giebt mithin verschiedene Töne, welche die Reihe der ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7 . . . befolgen, ohne daß es möglich ist, irgend einen zwischen diesen liegenden Ton zu erzeugen. Zu diesem Gesetze kommt noch die merkwürdige Thatsache, daß der Grundton einer geschlossenen Röhre und der Grundton einer offenen Röhre von derselben Länge stets in der Octave gegen einander sind, und daß die geschlossene Röhre den tiefen Ton oder den Ton 1 giebt, während der Ton der offenen Röhre der höhere Ton 2 ist. Man kann dies leicht durch den Versuch bestätigen, wenn man in eine Pfeifenröhre von genau gleichem Durchmesser, die also, wie man sagt, über einem Kerne gearbeitet ist, einen genau anschließenden Kolben einschiebt.

Von diesen Gesetzen ausgehend könnte man sich leicht eine Reihe von Pfeifen verschaffen, welche die Töne der Tonleiter geben müßten, indem man ihnen Längen zu geben hätte, die sich wie 1, $\frac{8}{5}$, $\frac{4}{3}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{8}{15}$, $\frac{1}{2}$ verhalten. Die Erfahrung zeigt jedoch keine volle Uebereinstimmung mit der Theorie; denn Röhren, welche genau die angegebenen Verhältnisse hätten, würden eine falsche Tonleiter geben. Dies kommt aber daher, daß die Luftsäule in der Nähe der Mündung sehr verwickelte Bewegungen erleidet, und daß es sehr schwer hält, im Querschnitte vollkommen übereinstimmende Pfeifen zu construiren. Daß der Querschnitt nicht gleichgültig ist, werden wir sogleich näher berühren. Vielleicht ist auch die Ansicht über die Schwingungsweise der Luft in den Röhren, welche Bernoulli zu Grunde legte, nicht die richtige, da, wie bereits angeführt ist, Fremont experimental nachgewiesen hat, daß eine Spiralbewegung stattfindet. Eine geringe Veränderung der angegebenen Verhältnisse genügt übrigens, um eine richtige Tonleiter zu erhalten.

Den tiefsten Ton, welchen man mit einer Pfeife hervorbringen kann, giebt die 32füßige offene oder 16füßige gedackte Pfeife. Es ist dies der Ton C, dem im

Allgemeinen 32 einfache Schwingungen in der Secunde zukommen. Da 32 Schwingungen von 32 Fuß Länge 1024 Fuß Schallgeschwindigkeit erzeuhen, so hat man darin wohl gar eine merkwürdige Beziehung zu finden gesucht. Allein wegen des Einflusses der Weite auf die Tonhöhe kann auch eine Pfeife, welche größer oder kleiner als 32 Fuß ist, denselben Ton angeben; auch ist an verschiedenen Orten der Ton der Stimmgabel verschieden, wie bereits oben angegeben ist. Nach der Stimmung am Berliner Theater würden auf C 32,775 Schwingungen in einer Secunde kommen; es leuchtet aber ein, daß eine Pfeife, welche diesen Ton geben soll, kürzer sein müsse, als eine solche, bei welcher nur 32 Schwingungen stattfinden. Eine 32füßige Pfeife ist somit gar nicht nothwendig 32 Fuß lang, ebenso wenig eine 16füßige 16 Fuß u. s. f.; es liegt hier vielmehr eine bei den Orgelbauern und Musikern überhaupt gäng und gebe gewordene bequeme oder kurze Ausdrucksweise vor. Das Orgelbaumaß ist übrigens das Leipziger Maas und nicht etwa das Pariser oder rheinländische.

Den Einfluß der Weite des Pfeifenrohres auf die Tonhöhe hat namentlich *Liscovius* *) zu bestimmen gesucht; auch Prof. *Müller* in Marburg hat sich damit beschäftigt **). Im Allgemeinen wird durch Vergrößerung des Umfangs der Pfeife der Ton tiefer und durch Verkleinerung höher, man kennt aber das Verhältniß noch nicht, nach welchem diese Veränderungen geschehen müssen, um gewissen Tonverhältnissen zu entsprechen. Vermindert man die dem Windloche parallel laufende Dimension und zugleich die Spalte, so nimmt der Ton an Intensität ab, aber die Höhe erleidet keine Veränderung. Der Einfluß der Weite auf die Tonhöhe zeigt sich um so bedeutender, je kleiner das Verhältniß des Umfangs zur Länge wird und umgekehrt.

Liscovius hat auch die Töne untersucht, welche durch Anblasen einer Flasche erzeugt werden. Es hat sich hierbei ergeben, daß der Ton um so tiefer wird, je größer das Volumen der Flasche und je länger und enger ihr Hals ist. Durch Eingießen von Wasser in die Flasche wird der Ton höher, wobei es in Betreff der Tonhöhe gleichgültig ist, ob die Flasche beim Anblasen senkrecht steht oder auf der Seite liegt.

Es führt uns der Ton der Flasche zu dem Tone des Brummkreisels, Brummkiesels, Mönchs, der Saußturl (fr. loupie d'Allemagne, woraus zu erhellen scheint, daß die Franzosen dies Spielzeug als deutsche Erfindung anerkennen). Wir haben über diesen Gegenstand einige Untersuchungen von *J. Savart* ***), von *G. Marx* ****), besonders aber von *G. Sondhaus* *****). Der Ton des Brummkreisels stimmt mit dem Tone überein, welcher anspricht, wenn man mit einem kleinen Windrohre oder mit dem Munde gegen den scharfen Rand der Seitenöffnung bläst. Nicht bloß hölzerne, sondern auch metallene und knöcherne Brummkreiseltönen. Die Seitenöffnung ist gewöhnlich quadratisch, kann aber auch kreisförmig sein; überdies ist es nicht nöthig, daß die Ranten scharf sind, sondern sie können

*) *Poggend. Annal.* Bd. LVIII. S. 93. *Dove's Repert.* Bd. VIII. S. 56.

**) *Ebd.* Bd. LXIII. S. 380.

***) *Annal. de Chim. et de Phys.* T. XXIX. p. 428.

****) *Journ. für praktische Chemie* von *Erdmann* und *Marchand.* Bd. XXII. S. 133.

*****) *Poggend. Annal.* Bd. LXXXI. S. 238.

auch von außen abgerundet sein, ohne daß der Ton bei der Rotation ausbleibt. Der Brummkreisel tönt sogar noch, wenn man zwei oder mehrere Löcher in die Seite der Hohlkugel bohrt, wobei es nicht einmal nothwendig ist, daß sie eine gleiche Größe oder eine diametral entgegengesetzte Stellung haben.

Die Höhe des Tones eines Brummkreisels hängt von dem Volumen der Hohlkugel, von der Größe der Seitenöffnung und bei hölzernen Apparaten auch von der Dicke der Wandung ab. Der Ton ist um so tiefer, je größer das Volumen der Hohlkugel, je kleiner die Seitenöffnung und je dicker die Wand ist. Sind mehrere Seitenöffnungen vorhanden, so nimmt die Tonhöhe mit der Anzahl der Oeffnungen zu. Schließlich kommt S o n d h a u ß zu dem Resultate, daß die Schwingungszahl des Tones eines Brummkreisels, wie einer kubischen Pfeife, im geraden Verhältnisse steht zu der Biquadratwurzel aus der Fläche der angeblasenen Oeffnung und im umgekehrten Verhältnisse zu der Quadratwurzel aus dem Volumen des vibrierenden Luftkörpers, oder daß

$$n = \frac{C \sqrt[4]{S}}{\sqrt[4]{V}}$$

wo n die Schwingungszahl, S der Flächeninhalt der Oeffnung, V das innere Volumen der Pfeife oder des Brummkreisels und C eine Constante, im Mittel = 104800, ist.

M a r x erklärt den Ton auf folgende Weise: Die durch den Umschwung in eine größere Centrifugalkraft versetzte und aus der Oeffnung hervorbringende Luft stößt auf die äußere ruhende, wird von dieser zurückgetrieben und treibt diese zurück; so entsteht eine Folge von Oscillationen, welche der Luft in der Kugel sich mittheilt und sie zum Tönen bringt. S a v a r t sagt: Der scharfe Rand der Seitenöffnung stößt gegen die äußere Luft und obgleich das in der Hohlkugel enthaltene Fluidum durch die Rotationsbewegung mit fortgerissen wird, so vibriert es doch ebenso, wie wenn diese Bewegung nicht existirte. S o n d h a u ß macht darauf aufmerksam, daß der Rand nicht scharf zu sein brauche, wie S a v a r t voraussetzt, und daß der Ton bei der Rotation, sobald man in der Drehungsaxe ein Loch anbringt, nur dann noch gut anspricht, wenn dies Loch im Vergleiche zu der Seitenöffnung sehr klein ist. Ist nämlich die Oeffnung in der Drehungsaxe größer als $\frac{1}{10}$ der Seitenöffnung, so tönt der Brummkreisel während des Rotirens nicht, spricht dagegen noch leicht und gut an, wenn man seine Seitenöffnung anbläst. Es zeigt sich somit eine Verschiedenheit beim Rotiren und Anblasen des Brummkreisels, was S a v a r t für ganz gleich hält. Trotzdem hält S o n d h a u ß an S a v a r t's Erklärung fest und erklärt das Nichtansprechen des angebohrten Brummkreisels in folgender Weise: Die in der Hohlkugel enthaltene Luft nimmt in Folge der an den inneren Wänden stattfindenden Reibung an der Rotation des Kreisels Theil, ebenso wie die äußere Luft. Die mitrotirende Luft tritt daher in Folge der Centrifugalkraft zum Theil aus der Seitenöffnung des rotirenden Brummkreisels, so daß im Inneren ein etwas luftverdünnter Raum entsteht. Strömt nun durch die Oeffnung in der Drehungsaxe immer neue Luft in ausreichender Menge zu, so dringt aus der Seitenöffnung ununterbrochen ein Luftstrom, welcher in der Richtung der Tangente auf die äußere Luft stößt und diese nicht bloß in raschere Rotation versetzt, sondern auch das Anblasen der bewegten Seitenöffnung verhindert. Ist dagegen die Oeffnung in der

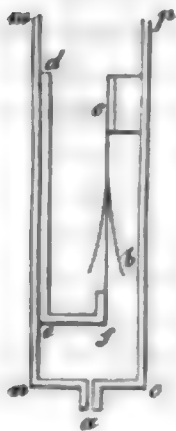
Drehungsbare verhältnißmäßig klein, so ist der aus der Seitenöffnung hervortretende Luftstrom zu schwach, um den Gegendruck der äußeren langsamer kreisenden Luft zu überwinden und der Brummkreisel tönt noch, wenn auch weniger gut und anhaltend.

Der Ton des Brummkreisels ist anfänglich etwas höher und sinkt allmählig; bei Abnahme der Geschwindigkeit hört er ganz auf, läßt sich jedoch nach einer Pause, während welcher man nur ein tiefes Brummen vernimmt, meistens nochmals hören, wiewohl schwächer und etwas höher. Dies geschieht bei einer verhältnißmäßig schon geringen Geschwindigkeit, wobei der Kreisel oft schon zu wanken anfängt. Diese Erscheinung benutzte *Sondhaus*, um sich für *Savart's* Ansicht zu entscheiden. *Marx* legt bei seiner Erklärung die Centrifugalkraft zu Grunde, *Savart* hält sich an die Uebereinstimmung mit dem Anblasen. *Sondhaus* brachte nun auf die Are einer Centrifugalmaschine ein hölzernes Bretchen, dessen beide Enden mit Löchern versehen waren, in welche der Fuß kleiner messingner Brummkreisel paßte. In jedes Loch wurde ein Brummkreisel eingesetzt und mit einer Klemmschraube befestigt, so daß der Seitenöffnung jede beliebige Stellung gegeben werden konnte. Zwei Brummkreisel wurden gewählt, bloß um das Gleichgewicht herzustellen (hätte dies nicht auch bei einem Brummkreisel durch ein Gewicht geschehen können?). Die Brummkreisel bewegten sich auf einem Kreise, dessen Radius ungefähr 135 Millimeter betrug, und tönten bei einer gewissen Drehungsgeschwindigkeit, mochte die Seitenöffnung nach außen oder nach innen, d. h. nach der Are der Schwungmaschine gerichtet sein. War die Oeffnung nach innen gerichtet, so konnte die Centrifugalkraft die Luft aus dem Brummkreisel offenbar nicht heraustrreiben. Es zeigten sich nun hierbei ebenfalls die beiden durch eine Pause getrennten Töne, und dies dient *Sondhaus* zum Anhalt, sich gegen die Erklärung von *Marx* auszusprechen, zumal er dieselbe Erscheinung auch erhielt, wenn er durch ein flaches Blechrohr, aus welchem man einen breiten, aber dünnen, gewissermaßen bandförmigen, Luftstrom treiben kann, quer über die Oeffnung des Brummkreisels blies. Trotzdem scheint mir für den rotirenden Brummkreisel die Ansicht von *Marx* die richtige zu sein. Die in der Hohlkugel enthaltene Luft nimmt an der Rotation Theil und wird wie tropfbare Flüssigkeiten in den Aequator gedrängt. In Folge der Centrifugalkraft wird die Luft anfangs aus der Seitenöffnung herausgedrängt und bei einer gewissen Rotationsgeschwindigkeit solche Schwingungen im Kampfe mit der äußeren Luft erregen, daß ein Ton entsteht; nimmt die Rotationsgeschwindigkeit ab, so wird auch die Centrifugalkraft geringer und es wird schließlich ein Eindringen der äußeren Luft in das zum Theil entleerte Innere des Brummkreisels eintreten, was wieder einen Ton erzeugen kann. Das anfängliche Ausströmen und schließlichke Einstömen wird selbstredend durch eine Pause geschieden sein. Daß beim Anblasen sich dieselbe Erscheinung zeigt, spricht nicht gegen diese Ansicht, im Gegentheil bestätigt sie dieselbe. Der eine Ton entsteht durch das Austreten der Luft aus dem Brummkreisel, der andere durch das Eintreten der äußeren Luft in denselben. So ist es gewiß auch bei dem Anblasen; denn ist dies noch schwach, so dringt die äußere Luft in die noch unverdichtete und mehr ruhende innere Luft, wird das Anblasen stärker, so wird ein Austreten der inneren Luft, die nun zusammengedrängt wird, die Folge sein. Beide Momente werden auch hier durch eine Pause getrennt, durch den Uebergang des einen Zustandes in den anderen.

Daß die Dicke der Wände nicht ganz ohne Einfluß auf den Ton der Pfeifen ist, wurde bereits oben erwähnt. F. Savart hat gezeigt, daß Pfeifen mit Pergamentwänden tiefer tönen, als mit starren Wänden und daß der Ton derselben immer tiefer wird, je mehr man das Pergament durch Feuchtigkeit erschlafft. Liscovius hat *) die hierher gehörigen Versuche mehrfach abgeändert und gefunden, daß der Ton einer Labialpfeife tiefer wird, wenn ein Theil der starren Wand durch Pergament ersetzt wird. Diese Vertiefung nimmt zu, wenn das Pergament einen größeren Theil der Wand einnimmt oder mehrere Wände mit Pergament versehen werden. Die Vertiefung wird geringer, wenn man das Pergament in der Mitte mit dem Finger drückt — gleichviel ob der Druck stärker oder schwächer ist —; sie steigt allmählig auf den vorigen Werth, wenn der Finger von der Mitte nach dem Rande des Pergamentes geführt wird. Wird das ganze Pergament gedrückt, so daß es nicht schwingen kann, so steigt der Ton auf die Höhe, welche er bei starren Wänden hat. Wird das Pergament durch Feuchtigkeit erschlafft, so wird der Ton zugleich tiefer und schwächer, bis er endlich ganz erlischt, wenn der untere Theil der Pfeife aus Pergament ist, oder auch in einen höheren Ton übergeht, wenn der obere Theil von Pergament ist. Ähnliche Verhältnisse finden nach meinen Beobachtungen statt, wenn man eine offene Labialpfeife mit einer angefeuchteten Schweinsblase oben verschließt. Die Tonerniedrigung geht bis auf einen halben Ton.

Durch Anschlagen des Pergamentes erhält man denselben Ton, wie durch Anblasen und zwar auf allen Pergamentwänden, auch wenn sie ungleich gespannt sind. Durch Schlagen kann der Ton noch erhalten werden, wenn er beim Blasen nicht mehr anspricht.

Den Ton von Zungenpfeifen fand Liscovius ungeändert, wenn die starre Wand durch eine membranöse ersetzt wurde. Von den Zungenpfeifen bekommt man am leichtesten eine Vorstellung, wenn man eine Clarinette näher betrachtet. Sie besteht aus zwei verschiedenen Schwingungsapparaten, deren jeder für sich schon Töne hervorzubringen vermag, nämlich aus einer offenen Röhre und aus dem sogenannten Mundstück. Das Mundstück ist eine prismatische oder cylindrische Rinne, die an einem Ende geschlossen und an der offenen Seite mit einem elastischen Streifen so gedeckt ist, daß der nach dem geschlossenen Ende hin liegende Theil nicht genau schließt, sondern frei schwingen kann. Dieser bewegliche Theil wird die Zunge genannt. Bei anderen Zungenpfeifen, z. B. dem Hoboe, stehen zwei elastische Blätter einander gegenüber, eine feine Oeffnung zwischen sich lassend.



Das Mundstück wird zum Tönen gebracht, indem man den vibrirenden Theil desselben in den Mund nimmt und so bläst, daß die Vibration der Zunge nicht gehindert wird, oder indem man dasselbe, wie bei einer Orgelpfeife, in einem Fuße mit einem Windloche anbringt. Nebenstehende Figur giebt hiervon eine Vorstellung. In dem Fuße *mno* p ist das Mundstück *bc* d luftdicht angebracht; *ch* ist die bei *c* festgeschraubte Zunge. Ein durch *a* eintretender Luftstrom treibt die Zunge nach innen, und wenn nach erfolgter Oeffnung der Spalte derselbe nachläßt, so

*) Pogg. Ann. Bd. LVII. S. 497.

geht diese in Folge der Elasticität wieder nach außen, wodurch das Mundstück geschlossen und die Zunge abermals nach innen gedrückt wird. Ist das Mundstück mit einer Röhre versehen, so kommt nicht nur die Zunge, sondern auch die in der Röhre enthaltene Luft in Schwingungen.

Die Töne, welche das Mundstück für sich giebt, erleiden keine Abänderung, wenn die Dimensionen der Oeffnung jene der Zunge um etwas übertreffen, wenn nur kein vollkommener Verschluss stattfindet. Der Ton spricht jedoch um so schwieriger, je größer der Zwischenraum, den die Zunge und die Oeffnung lassen, ist. Der Ton der Zunge am Mundstücke ist derselbe, welchen sie für sich schwingend giebt; durch die kurze Röhre des Mundstückes, an welcher die Zunge befestigt ist, wird nicht die Höhe, sondern nur die Stärke des Tones geändert.

Die Gesetze, nach welchen die Zungenpfeifen mit einschlagenden Zungen tönen, hat W. Weber ermittelt *). Wir werden wenigstens die wichtigeren dieser Gesetze hier mittheilen.

Stimmt der Ton, welchen das Mundstück für sich allein giebt, mit einem der Töne überein, welche die für sich allein tönende Röhre giebt, so ist die Zungenpfeife, je nach der Stärke des Anblasens, zweier Töne fähig, eines tieferen bei schwächerem und eines höheren bei stärkerem Anblasen. Der erste kommt mit dem Tone des für sich tönenden Mundstückes überein; der zweite wird aber um eins der Intervalle, welche den Zahlen $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{7}{8}$. . . entsprechen, tiefer werden, d. h. entweder mit dem Grundtone oder dem ersten, zweiten u. der harmonischen Töne der gedachten Röhre von gleicher Länge zusammenstimmen, je nachdem der Ton des Mundstückes entweder mit dem Grundtone oder dem ersten, zweiten u. harmonischen Tone der tönenden offenen Röhre übereinstimmt. Ist der Ton des Mundstückes z. B. c und stimmt derselbe mit dem Grundtone der offenen Röhre überein, so wird die Zungenpfeife beim schwachen Anblasen auch den Ton c, beim starken Anblasen aber den Ton C geben, also Töne, die um eine Octave von einander abstehen. Ist der Ton des Mundstückes aber z. B. \bar{g} und stimmt derselbe mit dem zweiten harmonischen Tone der offenen Röhre überein, so wird beim schwächeren Anblasen der Ton \bar{g} , beim stärkeren Anblasen aber der Ton \bar{e} zum Vorschein kommen, also Töne, die um das Intervall $\frac{5}{8}$ von einander abstehen.

Wenn der Ton des für sich allein tönenden Mundstückes mit keinem der harmonischen Töne übereinstimmt, welche die offene Röhre giebt, so erhält man bei schwächerem Anblasen aus der Zungenpfeife einen Ton, der tiefer als der des Mundstückes ist und mit demjenigen der harmonischen Töne übereinstimmt, welcher jenem am nächsten liegt, den die offene Röhre von der Länge der Zungenpfeife für sich zu geben vermag. Ist z. B. \bar{d} der Ton des Mundstückes und

$$\begin{array}{ccccccc} c, & \bar{c}, & g, & \bar{e} & . & . & . \\ 2, & 4, & 6, & 8 & . & . & . \end{array}$$

die Tonreihe der offenen Röhre, so giebt die Zungenpfeife den Ton \bar{c} . Bei stärkerem Anblasen wird der Ton der Zungenpfeife ebenfalls tiefer als der des Mundstückes und stimmt mit demjenigen der harmonischen Töne überein, welcher jenem

*) Wellenlehre S. 522. Pogg. Ann. Bd. XVI. S. 193. 415 u. Bd. XVII. S. 193. Vergl. auch dessen Dissertat. phys. Leges oscillationis etc. Halae 1826.

am nächsten liegt, den die gedachte Röhre von der Länge der Zungenpfeife für sich zu geben vermag. Ist also z. B. wieder \bar{d} der Ton des Mundstücks und

$$\begin{array}{ccccccc} C, & g, & e, & \bar{a}is & . & . & . \\ 1, & 3, & 5, & 7 & . & . & . \end{array}$$

die Tonreihe der gedachten Röhre, so giebt die Zungenpfeife den Ton g.

Setzt man an das Mundstück eine kurze Röhre, deren Länge kleiner ist, als der vierte Theil der Länge einer Luftsäule, die für sich allein in einer an beiden Enden offenen Röhre mit der Zunge im Einklange tönt, und setzen wir diesen vierten Theil = a , so treten folgende Veränderungen ein:

1) Wenn die angelegte Röhre allmählig bis zu a verlängert wird, so nimmt die Tiefe des erzeugten Tones nur unmerklich zu.

2) Wächst die Länge der Pfeife von a bis $2a$, so wird der Ton zwar merklich tiefer, aber nicht im gleichen Verhältnisse, als die Länge der schwingenden Luftsäule erfordern würde.

3) Von $2a$ bis $3a$ wächst die Tiefe des Tones fast eben so schnell als die Länge der Luftsäule.

4) Von $3a$ bis $4a$ schreitet die Vermehrung der Tiefe schneller fort, als die Zunahme der Länge und erreicht bei $4a$ genau die Octave von dem Tone, welchen die Zunge allein schwingend giebt.

5) Bei weiterer Verlängerung der Röhre springt der Ton plötzlich wieder auf den ursprünglichen zurück und wird auf eine ähnliche Weise, als in den 4 angegebenen Fällen, in ungleicher Progression durch Vermehrung der Länge von $4a$ bis $8a$ nur um eine Quarte tiefer.

6) Bei zunehmender Länge springt abermals der Ton auf die Höhe des ursprünglichen zurück, seine Tiefe wächst dann wieder, und zwar gleichfalls erst langsamer, dann schneller, bis sie bei $12a$ die kleine Terz erreicht hat.

Wir erhalten also für den Sprung auf $4a$, $8a$, $12a$. . . die Intervalle $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{6}$ und würden also, wie auch fortgesetzte Versuche bestätigten, in den Intervallen $\frac{7}{8}$, $\frac{9}{10}$, $\frac{11}{12}$. . . fortgehen. Hieraus folgt, daß, durch so mehr Abstufungen der Röhrenlänge man schon fortgeschritten ist, um so weniger der Ton der Zungenpfeife durch weitere Verlängerung der Röhre unter den Ton der Zunge erniedrigt werden kann. Am Anfange jeder Periode, in welcher die Länge der Röhre stets um $4a$ zunimmt, schwingt also die Luftsäule in der Zungenpfeife wie in einer offenen Labialpfeife, am Schlusse jeder Periode wie in einer gedachten.

Es ergibt sich hieraus:

1) Der Ton, welchen ein Mundstück giebt, kann durch Verbindung mit einer Röhre unter gewissen Umständen ungeändert bleiben, wenn er aber geändert wird, nur tiefer werden. Die größte Vertiefung des Tones, die hierbei das Mundstück erfahren kann, ist eine Octave.

2) Eine Zungenpfeife vermag in dem nämlichen Augenblicke nur einen und denselben Ton auf einmal zu geben, nicht aber mehrere gleichzeitige harmonische Töne, wie die Labialpfeife. Der Ton einer Zungenpfeife ist mithin frei von mitklingenden Beutönen. Ein Unterschied zeigt sich bei schwachem und starkem Blasen.

3) Theilt man die Länge einer Zungenpfeife in gleiche Theile von der Länge,

welche einer offenen Röhre zukommt, die den Ton der abgesondert schwingenden Zunge für sich zu geben vermag, und erhält man dabei einen Rest, der kleiner ist als die Hälfte jener Länge, so kann man ohne großen Fehler annehmen, daß der Ton der Zungenpfeife dem Tone der für sich schwingenden Zunge gleich ist; der Fehler wird um so geringer sein, je kleiner der restirende Theil ist.

4) Wenn jener restirende Theil größer als jene halbe Länge ist, so kann man ohne großen Fehler den Ton der Zungenpfeife nach dem Gesetze der gedachten Pfeifen voraus bestimmen, insofern man nämlich unter den harmonischen Tönen, welche eine gedachte Röhre von der Länge der Zungenpfeife für sich zu geben vermag, denjenigen auswählt, welcher tiefer als der eigenthümliche Ton der Zungenpfeife, aber ihm zunächst liegt; der Fehler wird um so geringer sein, je größer der restirende Theil ist.

Um den Ton einer gegebenen Zungenpfeife aus der Röhre und der Zunge zu bestimmen, giebt W. Weber folgende Formel:

$$n^2 = m^2 + \frac{g p \beta k}{\pi \delta u} n_1 \operatorname{tg} \frac{l n_1}{u}.$$

Hier bedeutet n die doppelte Schwingungszahl der isolirten Zunge; n_1 dasselbe für die Zungenpfeife; u die Schallgeschwindigkeit in der Luft; g die Größe der Beschleunigung durch die Schwere; k das Verhältniß der specifischen Wärme der Gase bei constantem Drucke zu jener bei constantem Volumen; l die Länge der Zungenpfeife; p den Druck der Atmosphäre auf die Flächeneinheit; β die Oberfläche des schwingenden Theiles der Zunge dividirt durch den Querschnitt der Luftsäule; δ das Gewicht eines Stückes der Zunge von der Größe der Flächeneinheit; π die E u d o l p h' sche Zahl.

Ueber das Verhalten von Zungenpfeifen, bei denen die gewöhnlichen starren Zungen durch schwingende Membranen ersetzt werden, hat J. Müller eine Anzahl von Beobachtungen angestellt *). Es haben sich zwar keine so bestimmten Gesetze ergeben, wie die, welche W. Weber an den Pfeifen mit starren Zungen gefunden hat, doch zeigt sich im Allgemeinen ein ähnliches Verhalten in Beziehung auf die Aenderung der Tonhöhe bei zunehmender Länge. Wegen des Näheren müssen wir auf das angeführte Werk selbst verweisen; bemerken hier jedoch noch, daß die Verlängerung des Windrohrs einen gleichen Einfluß auf die Vertiefung des Tones zeigt, wie die der Röhre, selbst in Betreff des Zurückspringens. Eine Compensation in der Art, daß der Ton ungeändert bliebe, wenn man das eine Rohr eben so viel verkürzt, als man das andere verlängert, findet nicht statt. Aendern beide Röhren zugleich ihre Länge, so werden die Erscheinungen noch viel complicirter und bis jetzt ist in diesem Falle noch gar keine Gesetzmäßigkeit entdeckt.

Es gehören hierher auch die Versuche von Robert Willis **) über die künstliche Hervorbringung von Vokallauten, womit sich bereits um 1770 Kempele n und Krahenstein beschäftigt hatten. Es kommt im Wesentlichen darauf an, an eine durchschlagende Zunge einen, von dieser aus gerechnet, der Erweiterung fähigen Raum anzubringen. Die Erweiterung kann trichterförmig sein

*) Handbuch der Physiol. des Menschen. Bd. II. S. 155, vergl. auch Dove's Repert. Bd. VI. S. 70 ff.

**) Pogg. Ann. Bd. XXIV. S. 594, vergl. auch Dove's Repert. Bd. III. S. 80.

und ein auf die Oeffnung gelegtes Bret ist alsdann zu verschieben, um eine Erweiterung oder Verengung der Ründung zu erlangen, oder es wird eine cylindrische Röhre angebracht, die sich zu beliebigen Längen verschieben und ausziehen läßt. War im letzteren Falle die Röhrenlänge gleich der Länge einer gedachten Pfeife, welche mit dem angewandten Zungenstücke im Einklange tönte, so erhielt man bei allmählicher Verkürzung die Vokale UOAEI; bei Verlängerung bis zur doppelten Länge dieselbe Reihenfolge, wie bei der Verkürzung, also wenn man von der dem Vokale I im ersten Falle entsprechenden Länge ausgegangen wäre und die Röhre immer mehr verlängert hätte, die umgekehrte Reihenfolge der Vokale; schreitet man mit der Verlängerung noch weiter fort bis zum Dreifachen, so kehrt sich die Reihenfolge der Vokale wieder um u. s. f., jedoch mit abnehmender Stärke des Lauts. Das Nähere ist a. a. O. nachzusehen.

Daß der Ton, welchen die Insekten während der Flugbewegung hören lassen, durch den Schlag der Flügel bewirkt werde, ist früher ziemlich allgemein angenommen worden; Burmeister hat jedoch durch eine nähere Untersuchung gefunden *), daß die Erschütterung der Luft vermittelst der Flügel keineswegs die wirkende Ursache ist. Der summende Ton wird auch dann noch, nur etwas höher gehört, wenn die Flügel bis auf den Grund abgeschnitten sind. Burmeister weist nach, daß mit der Bewegung des Flügels ein Zusammenziehen und Erweitern der Brusthöhle und dadurch ein Austreiben und Einziehen der Luft durch die Lustlöcher des Brustkastens nothwendig verbunden ist, welches, regelmäßig wiederholt, in ähnlicher Weise wie bei der Sirene, den Ton erzeugt, welchen wir während der Flugbewegung der Insekten wahrnehmen. Werden die Lustlöcher des Brustkastens verklebt, so verschwindet der Ton ganz. Je mehr man von den Flügeln abscheidet, desto höher wird der Ton, weil die Verkleinerung der Flügel das Spiel der Muskeln erleichtert und somit eine Verkleinerung desselben gestattet.

Das Tönen beim Ausströmen der Luft aus Oeffnungen in dünner Wand hat H. Savart **) und neuerdings Soudhauf ***) untersucht. Beide sind zu gleichen experimentellen Resultaten gelangt. Das hier in Rede stehende Tönen tritt namentlich dann ein, wenn der Luftstrahl in einigem Abstände von der Ausflußöffnung an scharfen Kanten vorüber- oder durch eine zweite Oeffnung von gleicher Größe hindurchgeht. Die Höhe der unter solchen Umständen entstehenden Töne nimmt zu proportional mit der Ausflußgeschwindigkeit und steht im umgekehrten Verhältnisse des Abstandes der Kante oder zweiten Oeffnung von der Ausflußmündung. Soudhauf ist der Ansicht, daß der Luftstrahl durch die Reibung an der Kante, an welcher er vorbeistreicht, oder an den Rändern der zweiten Oeffnung, durch welche er dringt, zum Tönen gebracht werde, wie ein Stab, den man durch Reiben an seiner Oberfläche in Schwingungen versetze. Savart geht bei seiner Erklärung von der Beschaffenheit des Wasserstrahles aus, welcher in einigem Abstände von der Ausflußöffnung seine homogene Beschaffenheit verliert und vermöge seiner diskontinuirlichen Form beim Stoß gegen Platten Töne erzeugt, deren Höhe ebenfalls proportional der Ausflußgeschwindigkeit wächst.

*) Pogg. Ann. Bd. XXXVIII. S. 283.

**) Instit. 1840. (No. 333) 170 u. 171.

***) Pogg. Ann. Bd. XCI. S. 126 u. 214.

Sondhauf hat außerdem die Töne untersucht, welche beim Ausströmen der Luft aus Oeffnungen in dicker Wand entstehen, wenn letztere zugleich Decke eines engen Rohres ist. Die Töne kommen dann mit den Grund- und Obertönen der in dem Rohre enthaltenen Luftsäule überein.

Ueber die Schwingungsbewegung der Luft wird Art. Wellenbewegung, wie bereits angegeben wurde, das Nähere enthalten. Wir wenden uns nun zu einigen anderen, mehr mittelbaren Erregungsarten der Töne.

H. Savart hat Töne beim Ausfließen von Flüssigkeiten durch kurze Ansagröhren beobachtet *). Man verschließe eine Glasröhre von 6 bis 8 Centimeter Durchmesser und 2 Meter Länge am unteren Ende durch eine Metallplatte, die in der Mitte ein cylindrisches Loch von einem mit der Dicke der Platte gleichen Durchmesser habe. Nachdem diese Röhre in senkrechter Richtung befestigt und mit Wasser gefüllt worden, öffne man das Loch. Das Ausfließen geschieht dann periodisch unter Tonbildung, so daß der Ton bei seinem Erscheinen anfangs schwach und verworren ist, daß er allmählig, in dem Maße als die Druckhöhe abnimmt, an Stärke gewinnt, aber nur bis zu einem gewissen Punkte, über welchen hinaus er wieder schwächer wird; daß es darauf einen gewissen Punkt giebt, wo der Ton sehr schwach und verworren wird oder gar verschwinden kann. Bei fortwährend abnehmender Druckhöhe nimmt er aber wieder zu an Kraft, wird tiefer und erreicht abermals ein Maximum von Intensität. Dann wird er wiederum schwach, um von Neuem zu wachsen, u. s. f. immer tiefer werdend, so wie die Druckhöhe abnimmt. Es gab sich im Allgemeinen, daß die Vibrationszahlen der Töne, welche bestimmten Druckhöhen zukommen, den Quadratwurzeln aus diesen Höhen oder der Ausfließgeschwindigkeit proportional sind; bei kreisrunden Oeffnungen stehen sie im umgekehrten Verhältnisse der Durchmesser dieser Oeffnungen. Ist der Durchmesser der Oeffnung gleich der Höhe der Ansagröhre, so erreichen die Töne ihre größte Stärke. Uebertrifft die Höhe der Ansagröhre das Doppelte des Durchmessers, so ist die Tonbildung fast unmöglich; man hört nur schwache Geräusche und zwar im Allgemeinen bei kleinen Druckhöhen. Ebenso sind keine Töne mehr möglich, wenn die Höhe der Ansagröhre kleiner ist als die Hälfte des Durchmessers derselben. Je kürzer die Ansagröhre wird, desto höher wird der Ton oder desto mehr nimmt die Anzahl der Schwingungen zu. Durch den Durchmesser der Behälterröhre wird keine merkliche Veränderung herbeigeführt. — Leider wurde die vollständige Untersuchung durch den Tod des geschickten Experimentators unterbrochen.

Der Ton der chemischen Harmonika hat in einem besonderen Artikel Bd. III. S. 689, in welchem auch die Töne erhaltener Röhren besprochen worden sind, seine Erledigung gefunden. Zu bemerken ist jedoch, daß seitdem von H. G. Schaffgotsch **) neue dahin gehörige akustische Beobachtungen gemacht worden sind. Wir heben hier nur hervor, daß ein in der Nähe der Harmonika angestimmter Ton, wenn er zu der Harmonika in einem einfachen Verhältnisse steht, z. B. unisono oder eine Octave höher, auf die Luftsäule der Harmonika einen so starken Einfluß ausübt, daß die Flamme in lebhafter Bewe-

*) Pogg. Ann. Bd. CX. S. 389.

**) Pogg. Ann. Bd. C. S. 252; Bd. CI. S. 471 u. Bd. CII, S. 627.

gung geräth und unter Umständen sogar erlischt. Zur Anstellung der Versuche hat Schaffgotsch einen besonderen Tonflammenapparat construirt.

Gilbert beschreibt *) eine Beobachtung, welche im Jahre 1805 der Hütteninspector Schwarz in Hettlardt gemacht hat. Eine 6 Mark schwere Scheibe von Amalgamationszinn hatte einen orgelähnlichen Ton gegeben, als sie heiß auf einen kalten Amboss gelegt wurde, den sie in drei Punkten berührte. In Gegenwart von Gilbert wurde der Versuch mit einer erstarrten, noch sehr heißen Zinn-Silbermasse wiederholt. Die convexe Masse lag nur an zwei Stellen auf, gerirrh in eine schwanke Bewegung, indem sie sich um die Aze, welche durch die beiden Punkte bestimmt war, hin und her drehte, und als die Bewegung sehr schnell wurde, entstand durch das Anschlagen gegen den Amboss ein ununterbrochener tiefer, brummender Ton. Zugleich hörte man einen feinen, doch nur sehr schwachen Ton. Wie verglichen Töne an erhigten Metallen beliebig hervorgebracht werden können, hat 1829 Trevellan **, der zufällig die Entdeckung machte, gezeigt. Als derselbe mit einem eisernen Plasterstreicher gemeines Harz aus einander streichen wollte, und das Eisen zufällig zu heiß werden ließ, lehnte er es in schiefer Stellung an einen Bleiblock, so daß der Handgriff auf dem Tische ruhte. Gleich darauf hörte er einen schrillenden Ton. Als er in die Nähe des Streichmessers kam, fand er dasselbe in Vibrationen begriffen, und konnte demnach an der eigentlichen Quelle des Tones nicht mehr zweifeln. Seit der Zeit, als er seine Entdeckung der Edinburgher Akademie mitgetheilt hatte, stellte er mit sehr vielen Metallen Versuche an, um zu erfahren, welche auf diesem Wege zum Tönen zu bringen seien. Er stellte das Resultat seiner Versuche in einer Tabelle dar, aus welcher folgende Angaben entlehnt sind: eine Stange von Platina tönt, wenn sie erhigt ist, auf einer Unterlage von Zinn, Zinn, Blei, Glockengut, Vippenmetall und Blockzinn; Gold auf Blei, feinem Messing (brass.), gemeinem Messing, Glockengut, Vippenmetall; Silber auf Platin, Eisen, Gußeisen, Zinn, Zinn, Messing, Kanonengut, Glockengut, Vippenmetall, Blockzinn, Löthzinn, leichtflüssigem Metall; Kupfer auf Platin, Silber, Kupfer, Eisen, Gußeisen, Zinn, Zinn, Antimon, Blei, feinem Messing, gemeinem Messing, Kanonengut, Glockengut, Vippenmetall, Blockzinn, Löthzinn, leichtflüssigem Metall; Eisen auf Zinn, Zinn, Antimon, Blei, Glockengut, Blockzinn, Löthzinn, leichtflüssigem Metall; Gußeisen auf Zinn, Blei; Zinn auf Zinn, Antimon, Blei, Glockengut, Löthzinn, leichtflüssigem Metall; fein Messing auf Kupfer, Eisen, Gußeisen, Zinn, Zinn, Antimon, Blei, fein Messing, gemeinem Messing, Kanonengut, Glockengut, Vippenmetall, Blockzinn, Löthzinn, leichtflüssigem Metall; gemeines Messing auf Zinn, Zinn, Blei, gemeinem Messing, Kanonengut, Glockengut, Vippenmetall, Blockzinn, Löthzinn; Kanonengut auf Zinn, Blei, Glockengut, Blockzinn, Löthzinn; Glockengut auf Blei, Löthzinn; Vippenmetall auf Blei und Kanonengut. — Eine Messingstange fängt auf kaltem Blei also gleich zu tönen an, wenn sie hinreichend erhigt ist; ja ein Stab von 5 Zoll Länge, 2 Zoll Breite und $\frac{3}{8}$ Zoll Dicke oscillirt sogar, wenn er mit 12 Pfd. beschwert ist, es muß aber zwischen dem Stabe und seiner Unterlage völlige Berührung statt-

*) Ann. der Phys. Bd. XXII. S. 323.

**) Lond. and Edinb. phil. Mag. and Journ. of Sc. III. Ser. No. 17 (1833). Pogg. Ann. Bd. XXIV. S. 466; Bd. XXXIII. S. 554.

finden. Wird die Metallstange auf einem Bleiblock, der an der Verührungsstelle abgerundet ist, in horizontaler Richtung balancirt, wie aus beistehender Fig. 1. zu ersehen ist; so sieht man sie in horizontaler und verticaler Richtung schwingen.

1.



Man kann diese Schwingungen durch einen über Kreuz gelegten Stab von 10 Z. Länge, der an beiden Enden mit Kugeln versehen ist, leicht sichtbar machen (Fig. II.). Ein Kupferling von 5 Zoll Durchmesser auf einem Bleistab schwingt im erhitzten Zustande vorwärts und rückwärts, auf einem Bleiblock aber aufwärts und abwärts. Pechlie hat zwar auch eine Kupferstange auf einer Glasplatte zum Schwingen gebracht, doch gelingt dieser Versuch nur schwer. Ein Stab schwingt am besten, wenn er auf einer rauhen Bleiunterlage ruht, Oxidation der Metallflächen hindert aber die Schwingung. Trebelhan

II.



brauchte Stangen von verschiedenen Dimensionen. Eine 3 Zoll lange, $1\frac{1}{4}$ Zoll breite und $\frac{3}{8}$ Zoll dicke Stange gab einen recht bemerkbaren Ton, doch muß man ihr einen schweifartigen Ansaß von einem 6 Z. langen Drahtstücke geben und der Länge nach am Rücken derselben eine Furche anbringen, an der entgegengesetzten Seite hingegen die Stange aushöhlen. Ein hohler Cylinder von $\frac{1}{2}$ Zoll Dicke und einem seiner Länge angemessenen Durchmesser zeigt die beabsichtigten Schwingungen am besten. Eine Ungleichheit an demselben verstärkt den Ton; beim ersten Auflegen der erhitzten Stange auf die Unterlage entsteht ein unbestimmter Ton, doch wird derselbe deutlich und bestimmt, wenn ein gewisses Verhältniß der Temperaturen eingetreten ist. Aenderung des Druckes auf den Stab ändert die Höhe des Tones und zwar wird letzterer desto höher, je stärker der Druck wird. Reibt man die Oberfläche des Bleies mit Quecksilber, Del, Stups zc. ein, so hindert man dadurch die Schwingungen. Dasselbe leistet Papier oder ein anderes Zwischmittel, das man zwischen den Block und die Stange bringt. Ausgleichung der Temperatur macht das Tönen aufhören. Aus allen diesen und mehreren anderen Bemerkungen ergeben sich folgende Schlüsse:

1) Um die in Rede stehenden Schwingungen hervorzubringen, muß man einen Stab und einen Block von demselben oder von verschiedenen Metallen nehmen.

2) Diese beiden Stücke müssen von einander abweichende Temperaturen haben, doch richtet sich die erforderliche Temperaturdifferenz auch nach der Natur

der Metalle. Zink und Glockengut brauchen einen kleineren Temperaturunterschied als andere harte Metalle.

3) Die Metallfläche der Unterlage muß rauh sein, der Stab kann aber keine zu große Glätte haben.

4) Zwischenmittel hemmen die Schwingungen mit Ausnahme eines Goldplättchens von nahe 200,000tel eines Zolles Dicke.

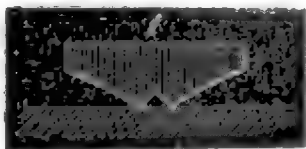
5) Die Luft hat an dem Entstehen des Tönens keinen besonderen Antheil.

6) Elektricität und Galvanismus haben an diesen Phänomenen gar keinen Antheil.

7) Es geben zwar alle Metalle, sowohl die einfachen als zusammengesetzten, wenn eines derselben erhitzt, das andere kalt ist, einen Ton, wenn man sie in gegenseitige Berührung bringt (mit Ausnahme des Wismuths); doch läßt sich derselbe nicht bei allen mit derselben Leichtigkeit hervorbringen.

8) Mit anderen Körpern, als mit Metallen, hat bis jetzt der Versuch nicht gelingen wollen.

Durch Trevelyan war für die Erscheinung ein allgemeineres Interesse erweckt. Man erkannte auch bald, daß die schnell wiederholten Schläge, mit denen das kalte Metall von dem heißen getroffen wird, die nächste Ursache des Tones waren, und daß es darauf ankomme, daß die kalte Unterlage — der Träger — von der heißen Barre — dem Wieger — in zwei Punkten berührt werden müsse. Die Versuche gelangen besonders leicht bei folgenden Formen,



von denen in I. der Wieger, in II. der Träger die beiden Stüppunkte darbietet. Bei der oben angegebenen Form des Trevelyan'schen Versuchs lieferte entweder das Blei durch seine Rauheit die beiden geeigneten Erhöhungen, oder die beiden Ränder der schmalen unteren Fläche des Wiegers, dessen Querschnitt hier Fig. III. beigelegt wird, dienten als Stüppunkte.

III.



Es entsteht nun die Frage, wie durch die Wärme hier die dauernde Schwingung unterhalten werde. Leslie *), Faraday **), Forbes *** und A. Seebeck ****) haben sich mit der Lösung dieser Frage beschäftigt.

Nach Faraday und Leslie ist die Ausdehnung, welche das kalte Metall erleidet, die Veranlassung. Auch Trevelyan ist dieser Ansicht beigetreten. Faraday spricht sich bestimmter in folgender Weise aus: So lange die kalte Unterlage, z. B. Blei, von dem heißen Metalle berührt wird, empfängt es Wärme von demselben und dehnt sich aus, so daß eine kleine Erhöhung auf dem Blei sich erhebt; wenn aber der berührte Punkt von dem heißen Wieger, der jetzt auf die

*) Bogg. Ann. Bd. XXIV. S. 470.

**) Ebenda Bd. XXIV. S. 471; vergl. auch Schweigger's neues Jahrb. Bd. IV.

***) Ebenda Bd. XXXIII. S. 553.

****) Ebenda Bd. LI. S. 1.

andere Seite fällt, verlassen wird, so zieht sich jene Erhöhung während der Nichtberührung wieder zusammen; der Raum, welchen jeder Berührungspunkt des heißen Metalles beim Fallen durchläuft, ist also größer als der, welchen er beim Steigen vom Blei ab beschrieben hatte, so daß die fallende Seite allemal bis zu einem niedrigeren Niveau gelangt, als die andere; durch diesen größeren Fallraum gewinnt das Instrument einen Zuwachs an Bewegung, der hinreichend ist, den durch die Hindernisse und den jedesmaligen Stoß erlittenen Verlust zu compensiren, so daß das Instrument in der einmal erregten Schwingung beharrt.

Das Emporwachsen der Bleierhöhung ist nicht als eine hebende Kraft zu betrachten, welche dadurch, daß sie auf die eine Seite des Wiegers wirkt, derselben einen stärkeren Schwung gäbe, denn diese würde keine solche Wirkung haben können. Faraday sagt sehr unzweideutig: „Die Kraft wird gewonnen durch den ganzen Wieger, indem derselbe wirklich erhoben wird durch den Punkt, von welchem er gerade unterstützt wurde, und kommt zur Wirkung durch die herab sinkende Seite des Wiegers etc.“ Die Zusammenziehung, welche das heiße Metall durch den Verlust an Wärme erleidet, übt hierbei eine entgegengesetzte Wirkung aus und muß daher von der Ausdehnung des kalten abgerechnet werden, so daß dieser Erklärung zufolge nur dann dauernde Schwingungen zu erwarten sein werden, wenn die Ausdehnung des kalten Metalles mehr beträgt, als die gleichzeitige Zusammenziehung des heißen.

Faraday schreibt noch einem andern Umstande einen Theil der Wirkung zu. Indem nämlich der in der Erhitzung begriffene Stützpunkt sich dem in der Abkühlung befindlichen nähert, werde dem Instrumente eine seitliche Bewegung ertheilt, die seiner Schwingung zu Statte komme. Wechselte diese seitliche Bewegung in der Art, daß jene Näherung nur während des Steigens des Schwerpunktes stattfände, während seines Fallens aber sich in die entgegengesetzte Bewegung verwandelte, so würde sie allerdings die in Rede stehende Wirkung haben müssen; dauert sie dagegen, wie dies hier der Fall ist, in gleichem Sinne fort, so muß sie, während der Schwerpunkt fällt, eine entgegengesetzte Wirkung haben, und daher die während seines Steigens erzeugte compensiren. Ist nun gleich diese Compensation hier nicht vollständig, weil die Mittheilung von Wärme in abnehmendem Maße erfolgt, so scheint doch der kleine davon übrig bleibende Effect unwesentlich zu sein.

Die Fragen, welche Faraday's Erklärung anregt, sind: 1) ob die geringe Menge Wärme, welche während einer so kurzen Berührungszeit mitgetheilt wird, und die auch nur eben so viel Zeit hat, sich wieder zu verlieren, hinreichend ist, um jene Bewegung zu unterhalten, und 2) ob die Erklärung von der Erfahrung darin bestätigt wird, daß in allen den Fällen, wo der Ton entsteht, die Ausdehnung des kalten Metalles wirklich mehr beträgt, als die Zusammenziehung des heißen.

Forbes hat die Erklärung Faraday's mit Verletzung auf die zweite Frage bestritten und die Hypothese aufgestellt, daß beim Uebergange der Wärme aus einem besseren Leiter in einen schlechteren eine Abstoßung zwischen beiden erzeugt werde. Wäre dem so, so würde, wenn der Uebergang von Wärme während der ganzen Berührungsdauer gleichmäßig stattfände, auch diese Kraft fortwährend dieselbe Stärke behalten und dann der Bewegung während zwei Viertels-

schwingungen eben so sehr entgegenwirken, als sie dieselbe während der beiden anderen beförderte; erwägt man aber, daß die Mittheilung von Wärme im Anfange der Verührung am stärksten sein muß, so findet man, daß jene Kraft die Bewegung des Wiegervs mehr hemmen als befördern würde. Man müßte also ganz andere Annahmen machen.

N. Seebeck hat nun Faraday's und Forbes' Ansichten einer strengen Prüfung unterworfen, und schließlich sich für Faraday entschieden. Das Nähere findet sich a. a. O. und wir theilen hier nur noch einige Resultate mit, zu welchen ihn seine Untersuchung geführt hat.

Nach demselben ist die Verührung zwischen zwei ungleichen Stoffen keine nothwendige Bedingung des Versuchs. Unter geeigneten Umständen kann jedes heiße Metall auf jedem kalten in dauernde Schwingung versetzt werden. Verstand der Träger aus Drähten, so hing die Hebung, d. h. die periodische Ausdehnung oder Zusammenziehung, welche die Drähte in ihrer Längenrichtung durch die wiederholte Verührung mit dem heißen Wiegerv und die darauf folgende Abkühlung erleiden, ab 1) vom Ausdehnungscoefficienten und ist dem um 1 verminderten Coefficienten proportional; 2) von der Dicke der Drähte; 3) von der Länge derselben; 4) von ihrer Wärmeleitung und Capacität.

Die Schwingungen treten allemal ein, wenn die Linearausdehnung, die der kalte Träger durch die ihm mitgetheilte Wärme nach der verticalen Richtung erleidet, mehr beträgt, als die gleichzeitig erfolgende lineare Zusammenziehung des heißen Wiegervs. Dies hängt dann vorzüglich ab von der Gestalt, welche die beiden Metalle in der Nähe der Verührungstellen haben, von ihrer Wärmeleitung (und Capacität) und von ihrem Ausdehnungscoefficienten. Nämlich:

1) Jedes heiße Metall kann auf jedem kalten (von gleichem oder verschiedenem Stoffe) in dauernde Schwingung versetzt werden, wenn ihre Gestalt so gewählt wird, daß die Wärme sich in dem kalten bedeutend weniger zur Seite ausbreitet, als die Kälte in dem heißen.

2) Wenn die Wärme sich in dem kalten Metalle nur nach unten fortpflanzt, die Kälte in dem heißen aber sich vom Verührungspunkte aus nach allen drei Dimensionen verbreitet, so sind die Schwingungen unter sonst gleichen Verhältnissen um so stärker, ein je besserer Wärmeleiter das kalte Metall ist.

3) Wenn aber die Wärme sich auch im Träger bedeutend zur Seite ausbreitet, so sind die Schwingungen im Gegentheil um so stärker, ein je schlechterer Leiter derselbe ist, doch nur bis zu einer gewissen Grenze, über welche hinaus auch hier die noch schlechtere Wärmeleitung eine entgegengesetzte Wirkung hervorbringt.

Unter allen Umständen sind die Schwingungen um so stärker 4), ein je besserer Leiter das heiße Metall ist;

5) je mehr sich in ihm die Kälte vom Verührungspunkte aus verbreiten kann;

6) je kleiner sein Ausdehnungscoefficient und

7) je größer der des kalten ist *).

Nach Leslie's Beobachtung dauern die Schwingungen im Vacuum der Luftpumpe fort. Mit der Temperaturdifferenz der beiden Metalle nimmt im Allgemeinen die Stärke der Schwingungen zu; nach Forbes machte sehr heißes Eisen

*) Vergl. Dove's Repert. Bd. VI. S. 38 ff.

auf Blei eine Ausnahme wohl deshalb, weil eine Erweichung der kleinen Blei-erhöhungen stattfand.

Tyndall hat neuerdings *) nochmals eine sehr ausführliche Untersuchung über die Schwingungen und Töne angestellt, welche bei Berührung von Körpern ungleicher Temperatur eintreten. Er zeigt insbesondere, daß die Töne auch bei Berührung zweier Körper von gleicher Substanz entstehen; daß die Körper keineswegs metallisch zu sein brauchen und daß die Intensität der Schwingung keineswegs proportional dem Unterschiede des Wärmeleitungsvermögens beider sich berührender Körper ist. Im Wesentlichen gelangt er zu Resultaten, die mit denen Seebeck's übereinstimmen.

Die Wärme kann auch sonst in einem Körper Töne hervorrufen, wenn derselbe überhaupt nur vermöge seiner Elasticität stehender Schwingungen fähig ist. Strehlke **) hat Versuche angestellt über das Tönen von Zinkscheiben und Zinkstangen. Die Töne waren ziemlich hoch, nicht continuirlich, sondern schnell wiederholt, entferntem Schlittengeläute vergleichbar; sie entstanden sowohl beim Erhitzen, als beim Abkühlen und waren bei schnellem Temperaturwechsel oft ziemlich stark. Diese Töne entstehen durch stehende Schwingungen des Zinks; denn sie haben immer die Höhe des Tones oder eines von den Tönen, die man auch beim Anschlagen und selbst beim Streichen mit dem Violinbogen erhalten kann. Die Erwärmung und Abkühlung theilt in Folge der eintretenden Ausdehnung und Zusammenziehung dem Metalle von Zeit zu Zeit kleine Erschütterungen mit, und zwar plötzlich und ruckweise. Dieselbe Erscheinung hat man bei den Tönen eiserner Ofentüren, was ebensowohl beim Erhitzen, als beim Abkühlen eintritt. Auch an Messingblech, an Gußeisen, an Scheiben von Antimon und von Zinn hat A. Seebeck dergleichen Töne bemerkt; doch entstehen sie am Zink viel leichter, was in dem großen Ausdehnungscoefficienten und dem krystallinischen Gefüge dieses Metalles zu suchen ist.

Auch mittelst des elektrischen Stromes lassen sich unter gewissen Umständen Töne erzeugen. Man vergleiche hierüber den Art. Magnetismus, Bd. IV. S. 782 ff.

Poggendorff ***) hat, während vor ihm diese Töne, namentlich in Stahl- und Eisen-Stäben oder Drähten hervorgerufen worden waren, den Bereich der hierhergehörigen Thatfachen dadurch erweitert, daß er den Inductionsstrom als Tonerreger benutzte, und nicht Stäbe oder Drähte zum Tönen brachte, sondern Röhren, gebildet aus Flecken oder Platten, welche die einen discontinuirlichen galvanischen Strom leitende Drahtrolle umgeben. Seine Versuche führten zu folgendem allgemeinen Resultate:

Alle Metalle, das Eisen ausgenommen, geben keinen Ton, wenn sie entweder als ganz offene oder als vollkommen geschlossene Röhren die Drahtrolle umgeben. Stoßen dagegen die Ränder der Röhren bloß an einander, so lassen alle Metalle, auch das Eisen nicht ausgenommen, einen sehr deutlichen Ton vernehmen, der an Stärke und Klang verschieden ist nach den Dimensionen der Röhre, nach der Natur und Elasticität ihres Materials, nach der Intensität des Stromes, und dergleichen

*) Pogg. Ann. Bd. XCIV. S. 613.

**) Ebenda Bd. XLIII. S. 403.

***) Ebenda Bd. XCVIII. S. 192.

mehr. Steckt man z. B. in eine tönende Röhre eine andere vollkommen geschlossene Metallhülle von geringerem Durchmesser, so daß sie die inducierende Drahtrolle umgiebt; so hört das Tönen augenblicklich auf. Stellt man gleichzeitig zwei des Tönens fähige Röhren von ungleichem Durchmesser in einander um die Drahtrolle, so tönen sie vereint schwächer, als jede einzelne für sich. Manchmal verstummt die eine ganz.

Diese Töne verdanken ihren Ursprung jedenfalls einem parallel den Windungen der Drahtrolle in der Röhre erregten Inductionsstrom; doch hat die Tonbildung unzweifelhaft zunächst ihren Sitz an der Stelle, wo die Ränder der Röhren einander berühren, indem von dort aus Erschütterungen erfolgen, welche die Röhre in tönende Schwingungen versetzen. Die Töne sind daher auch nur ein secundäres Phänomen; das Primitive der akustischen Erscheinung liegt in einem trockenen Geräusche, einem dem Schlagen einer Taschenuhr einigermaßen vergleichbaren Ticken. Dies Ticken zu erklären, gehört in das Gebiet der Electricitätslehre. Was Poggendorff zur Lösung dieser Frage, die er jedoch selbst für nicht erledigt erklärt, gethan hat, ist a. a. O. nachzusehen.

Die Entstehung eines Tones, der gewiß schon mehrfach bemerkt, aber nicht näher beachtet worden ist, hat Oppel gründlich und ausführlich untersucht *). In der Nähe der mit vierfachem Gitter besetzten Eisenbahnbrücke, welche bei Frankfurt über den Main führt, beobachtete er einen schrillenden Ton nach jedem Schusse, welcher von den auf einem dicht angrenzenden Blage im Feuer exercirenden Soldaten fiel. Der Ton nahm an Tonhöhe und Tonstärke sehr rapid ab. Die Erklärung fand Oppel in der Annahme, daß die Aufeinanderfolge der von den Gitterstäben des Geländers zurückgeworfenen Streifen der Hauptballwelle des Schusses den Ton bilde. An Ort und Stelle angestellte Beobachtungen widersprachen der Theorie in keiner Weise und dienten somit der Annahme zur Bestätigung. Durch zahlreiche, einander rasch folgende Schallreflexionen zwischen nahen Wänden dürfte ein ähnliches Phänomen entstehen. — Auch über die Aenderung der Tonhöhe, wenn die Schallquelle oder der Beobachter in Bewegung sind, hat Oppel Bemerkungen mitgetheilt **). Auch Doppler hat den Einfluß der Bewegung auf die Töne, namentlich ihre Intensität einer näheren Untersuchung unterzogen ***).

Zu musikalischen Zwecken sind nicht alle Tonerregungsarten brauchbar, da es hierbei vorzugsweise darauf ankommt, daß der Ton möglichst schnell und sicher anspricht, auch nach Belieben hervorgerufen werden kann. Wir können daher z. B. die Aeolsharfe, Windharfe — von welcher (Bd. I. S. 116) ein besonderer Artikel handelt — nicht zu den eigentlichen musikalischen Instrumenten zählen ****). Selbst Gladnig's Euphon *****), bei welchem es im Wesent-

*) Pogg. Ann. Bd. XCIV. S. 337 u. 330; f. auch Baudrimont, Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 319.

**) Jahresbericht des phys. Vereins zu Frankfurt a. M. 1853—54. S. 40.

***) Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 262. Vergl. Art. Wellenbewegung.

****) Bei dieser Gelegenheit sei noch bemerkt, daß elektrische Telegraphenleitungen, wenn sie mehrdrähtig sind, oft eine natürliche Aeolsharfe bilden und Töne wie von verschiedenen gestimmten fernen Glocken von sich geben.

*****) Akustik S. XIX.

lichen sich darum handelte, durch Streichen gläserner Stäbe mit nassen Fingern nach der Richtung der Länge einen Klang hervorzubringen, ermangelt der Vollkommenheit eines musikalischen Instrumentes, ungeachtet Chladni mit demselben Reisen unternahm und Vorstellungen gab. Auch die von Benj. Franklin zuerst praktisch hergestellte bekannte Glasharmonika aus Glasglocken, welche auf einer Walze befestigt sind, so daß sie in ihrer Gesamtheit in Umdrehung versetzt werden können, läßt sich nur theilweise für musikalische Zwecke benutzen, am besten noch zu getragenen Musikstücken wie Choräle, weil das Ansprechen der Glocken bei der Reibung ihrer Ränder an den nassen Fingern einige Zeit erfordert.

Zu den vollkommensten musikalischen Instrumenten gehören diejenigen, bei welchen man jeden Ton nach Belieben fortdauern und ebenso nach Belieben anschwellen oder abnehmen lassen kann. Alle Geigen- (d. h. Streich-) und Blasinstrumente gehören hierher, nur müssen derselben mehrere beisammen sein, wenn man eine volle Harmonie erzielen will. Die Orgel, das großartigste und gewaltigste Instrument, ist zwar geeignet, die Töne nach Belieben fortdauern zu lassen, aber in Betreff des Anschwellens und Abnehmens der Töne zeigt sie sich mangelhaft. Das Instrument, welches die an ein vollkommenes musikalisches Instrument zu stellenden Forderungen im höchsten Grade befriedigt, ist — wenn man so sagen darf — die menschliche Stimme. Zu den unvollkommensten Instrumenten gehört die gemeine Trommel, da die beiden Trommelfelle, welche bei ihr zur Anwendung kommen — namentlich auch wegen des sogenannten Stimmriemens — sich gegenseitig in ihren Schwingungen stören. Die Trommel ist eigentlich ein Lärmapparat, während man die auf einen bestimmten Ton genau stimmbare Pauke den musikalischen Instrumenten wohl mit Recht zugählt. Zu den Lärmapparaten rechnen wir auch die Becken, gewöhnlich flache, messingene Teller mit einem Beutel in der Mitte, an welchem sich ein Riemen zum Halten befindet, von denen der eine gegen den anderen geschlagen wird, und das chinesische Gong-Gong oder Tam-Tam, ein deckelartiges Metallstück von außerordentlicher Sprödigkeit, welches an einem durch zwei Löcher am Rande gezogenen Bande frei schwebend gehalten und mit einem großen Klöppel geschlagen wird.

Noch unvollkommene musikalische Instrumente erblicken wir in den Strohsfideln: Stäbe oder schmale Streifen von Glas, Stahl, Holz, Stein, die auf Strohscheiden oder anderen weichen Unterlagen, z. B. gespannten Bändern, liegen und mit kleinen Klöppeln geschlagen werden. Die bei den Militär-Musikcorps in neuerer Zeit so häufig vorkommende sogenannte Stahlharmonika gehört ebenfalls in diese Kategorie. Die Eisenvioline, aus stählernen, in einem Halbkreise auf einem Resonanzboden eingesetzten und mit einem Violinbogen gestrichenen Stäben bestehend, beruht auf den Transversalschwingungen der an einem Ende festgeklemmten Stäbe. Auf dasselbe Princip kommt es bei den bekannten Spieluhren oder Spieldosen an.

Die Saiteninstrumente sind entweder so construirt, daß auf einem Resonanzboden für jeden Ton eine oder, wie theilweise bei dem Pianoforte, zwei bis drei Saiten ausgespannt sind, — dahin gehört die Harfe, das Clavier, das Pianoforte —, oder daß die Anzahl der Saiten, wie bei der Geige, dem Cello, der Guitarre etc., eine beschränkte ist und diesen durch Verlängerung oder Verkürzung der Länge die verschiedenen Töne entlockt werden. Die Schwingungen der Saiten werden durch Schlagen, wie bei dem Pianoforte, oder durch Reiben,

wie bei der Harfe, oder durch Streichen, wie bei der Geige hervorgebracht. Daß die Beschaffenheit des Tones von der Construction des Resonanzkastens abhängt, ist eine allgemein bekannte Sache. Die Saite, der Kasten und die in ihm enthaltene Luft bilden auch ein schwingendes System, wovon jeder Theil dem Tone einen besonderen Klang verleiht. Die Saite indessen giebt den eigentlichen Ton, d. h. alle übrigen Stücke müssen sich mit ihr in Einklang setzen, und zu diesem Zwecke sich übereinstimmend durch Knotenlinien theilen. Es ist in der That klar, daß die Verbindung der Saite mit dem ganzen Systeme den Ton, welchen sie gemäß ihrer Länge und Spannung geben soll, nicht verändern kann; denn die Punkte, an welchen sie die Stege berührt, sind ganz gewiß Knoten, und sind diese Knoten einmal bestimmt, so ist der Ton nur eine nothwendige Folge davon. Doch muß der Kasten von einer solchen Substanz und Form sein, daß er auf der Stelle sich mit allen Saiten und allen ihren Tönen in Einklang setzen kann, und muß überdies auch seine Schwingungen der in ihm enthaltenen Luftmasse mittheilen können, folglich auch diese Luftmasse fähig sein, sie aufzunehmen. Die so vielfältigartigen Bedingungen führen zu der Einsicht, wie schwer es ist, ein gutes Saiteninstrument, z. B. eine gute Geige, zu verfertigen. Denn gesetzt, die Masse des Kastens schwingt vollkommen gut, so könnte doch, vermöge seiner Gestalt, die von ihm eingeschlossene Luftmasse die Schwingungen unvollkommen aufnehmen, und das Instrument wäre schlecht. Ein wenig mehr Elasticität oder Starrheit in dem Holz des oberen Blattes wird ohne Zweifel eine andere Gestalt des Kastens bedingen, und deshalb haben bisweilen zwei gleich vortreffliche Geigen merklich verschiedene Gestalten, und zwei Geigen von gleicher Form können die eine sehr gut, die andere sehr mittelmäßig sein. Bisweilen genügt eine geringe Veränderung in den beweglichen Theilen, um eine Geige etwas besser oder etwas schlechter zu machen. Denn die Schwingungen gehen durch den Steg von der Saite auf das obere Blatt, und vermöge der Stimme auf das untere Blatt über. Nothwendig muß aber die absolute und relative Stellung dieser Stücke einigen Einfluß auf die Leichtigkeit haben, mit welcher der Ton von der Saite in den Kasten, und vom Kasten in die Luftmasse übergeht. Savart hat verschiedene interessante Versuche gemacht, um durch die Bewegung des Sandes das Uebergehen der Schwingungen in die verschiedenen Stücke der Geige augenfällig zu zeigen, und kam so darauf, die hauptsächlichsten Functionen zu bestimmen, welche jedes derselben für sich hat. Da indessen auch das einfachste Stück so vielen Bedingungen genügen muß, so ist es fast unmöglich, darüber eine genaue Untersuchung anzustellen, und höchst wahrscheinlich würde man, wollte man irgend eines dieser Stücke verändern, um es zu dem oder jenem Zwecke passender einzurichten, es für irgend einen anderen wieder unpassender machen, und auf der anderen Seite wieder verlieren, was man auf der einen gewonnen. Die vollkommensten dieser Saiteninstrumente sind die Streichinstrumente, wie bereits oben angegeben wurde. Das Streichen geschieht mittelst des Bogens und über die Wirkungsweise dieses Bogens wollen wir hier auf Duhamel's Untersuchungen aufmerksam machen *).

Die gewöhnliche Ansicht ist, daß der Violinbogen durch seine Unebenheiten die Saite reisse. Da die Unebenheiten jedoch sehr nahe bei einander liegen, so schließt Duhamel, daß daraus eine gleitende Reibung hervorgeht und daß diese,

*) l'Instil. 1839. p. 386; 1840. p. 190; vergl. Dove's Akustik. Bd. VI. S. 58.

nach den erfahrungsmäßig bekannten Gesetzen solcher Reibung, eine Kraft liefere, im Sinne der relativen Bewegung des Bogens, unabhängig von der Geschwindigkeit und proportional dem Drucke. Der Druck kann bei der kurzen Dauer einer Schwingung als constant angesehen werden, so daß die Größe der Kraft constant ist; auch ihre Richtung ist constant, wenn die Geschwindigkeit des Bogens immer größer ist, als die der Saite, und man kommt in diesem Falle auf ein sehr einfaches Theorem, aus welchem hervorgeht, daß der durch den Bogen erregte Ton derselbe ist, wie wenn die Saite angeschlagen und frei sich selbst überlassen würde, was mit der Erfahrung übereinstimmt. Wenn aber die Geschwindigkeit des Bogens merklich geringer ist, als die größte Geschwindigkeit der Saite, so ist die Geschwindigkeit der letzteren bald größer, bald kleiner als die des Bogens, daher dann die aus der Reibung entspringende Kraft bald in der Richtung der Bogenführung, bald in der entgegengesetzten Richtung wirkt. In diesem Falle wird die eine Halbschwingung, bei welcher die Saite im Sinne des Bogens geht, verzögert, während die andere dieselbe Dauer behält, so daß die ganze Schwingung länger dauert und der Ton tiefer wird. Wie Duhamel gezeigt hat, stimmt die Erfahrung mit diesem Resultate der Theorie überein; dasselbe ist mit Folgendem der Fall: Wenn der Bogen beständig eine größere Geschwindigkeit hat, als die Saite, so ist die Bewegung der letzteren, wie gesagt, eben so als ob sie angeschlagen und sich überlassen wäre; daraus folgt, daß die Mittheilung von Bewegung an die Luft und die übrigen umgebenden Körper zuletzt die Saite zur Ruhe bringen muß, obgleich der Bogen fortwährend auf dieselbe wirkt.

Das Reiben des Violinbogens erzeugt, wie Antoine*) bemerkt, eine Reihe von Stößen, aus denen alle Wirkungen dieses Instrumentes hervorgehen. Indessen wiederholen sich diese Stöße nicht in regelmäßiger Weise, um den Ton zu unterhalten; man kann den Ton einer Saite unterhalten, wenn man sanft mit dem Finger auf dieselbe klopft und dabei diese Schläge fast in willkürlicher Weise erneut. Der einzige Unterschied, den man bemerkt zwischen den Tönen, die vom Bogen unterhalten werden, und denen, die durch Zupfen mit den Fingern, also durch eine Reibefolge von Stößen hervorgebracht werden, entspringt nach Antoine nur aus der Zartheit und Leichtigkeit der Stöße des Bogens. Wenn man eine Saite mit dem Bogen streicht, so machen seine Haare Querschwingungen, von deren Dasein man sich leicht überzeugen kann, wenn man die Haare mit einem einfachen Drahtringe umgiebt. Es ist noch nicht ermittelt, welchen Einfluß diese Schwingungen des Bogens auf die Schwingungen der Saite und folglich auf die Reinheit der erregten Töne ausüben.

Ueber die Erzeugung der Flageolettöne auf Streichinstrumenten ist oben bereits das Erforderliche beigebracht.

Die Blasinstrumente sind von der verschiedensten Construction von der einfachen Pappagenoflöte bis zu der zusammengesetzten Orgel. Wir beschränken uns hier auf einige Bemerkungen über die gewöhnlichen der hierhergehörigen Instrumente.

Das Horn besteht aus einer langen, kreisförmig gewundenen messingenen Blechröhre, die in einen weiten Schalltrichter endigt. Das metallene Mundstück

*) Vergl. Ann. de Chim. et de Phys. Sér. III. T. XXVII. p. 191. Pogg. Ann. Bd. LXXXI. S. 344 ff.

— gewöhnlich von Messing oder Silber — hat die Form eines Kegels mit schmalem Rande. Daß dergleichen Röhren beim Anblasen, je nach der Stärke desselben, die harmonische Tonreihe geben, ist bereits oben angegeben worden; wir bemerken daher nur noch, daß außer dem stärkeren oder schwächeren Anblasen auch der Ansaß der Lippen, namentlich ihr Anspannen oder Nachlassen, auf den Ton von Einfluß ist. Da die Reihe der harmonischen Töne nicht rein mit der diatonischen oder chromatischen Tonleiter zusammenfällt, so hilft man sich durch das sogenannte *Stropfen*, d. h. durch Einführung der Hand in den Schalltrichter, wenn es darauf ankommt, einen Ton etwas zu erniedrigen. Ein Horn von bestimmter Röhrenlänge hat einen bestimmten Grundton; um nun das Horn zu den Tonschüden der verschiedenen Tonarten consonirend zu machen, setzt man Röhrenstücke von verschiedener, den einzelnen Tonarten angepaßter Länge ein, wodurch die Röhrenlänge des Hornes mithin eine zweckentsprechende Veränderung erleidet.

Die Trompete besteht wie das Horn aus einer langen messingenen Blechröhre, jedoch ist dieselbe nicht kreisförmig gewunten, sondern so zusammengedrückt, daß zwei kürzere Bogensestücke durch längere gerade Röhrentheile verbunden sind, und das Mundstück wird aus einem gegossenen Messingstücke mit breitem Rande und cylindrischer Oeffnung gebildet. Der Ansaß der Lippen ist hier noch wesentlicher als bei dem Horne. Sechstücke sind auch bei der Trompete nöthig, um dieselbe den verschiedenen Tonarten anzupassen; gewöhnlich sind dieselben, wenigstens bei dem Militär auf Es gestimmt. Daß man Melodien auf der Trompete nur in hohen Tönen blasen kann, folgt aus der harmonischen Tonreihe.

Bei dem Klapphorne und der Klapptrompete wird mit Hülfe von Ventilen eine Verlängerung oder Verkürzung des Rohres erzielt, und dadurch die chromatische Tonleiter zu Stande gebracht. Bei der Posaune erreicht man dasselbe durch Ausziehen oder Einziehen der in einander verschiebbaren Röhrentheile.

Die Flöte wird gewöhnlich aus Burbaumholz angefertigt. Sie besteht aus dem Kopfstücke mit dem Mundloche, zwei Mittelstücken mit je drei Löchern und dem Fuße mit einem durch eine Klappe geschlossenen Lode. Sind alle Löcher geschlossen, so erhält man bei schwachem seitlichem Anblasen des Mundloches den tiefsten Ton der Flöte *D*; die übrigen Töne werden durch stärkeres oder schwächeres Anblasen und durch das Öffnen und Schließen bestimmter Grifflöcher gewonnen. Je nach der Größe ist der Grundton verschieden. Eine kleine Flöte tiefer als die gewöhnliche Flöte heißt die *Flute d'amour*, eine kleine Flöte höher die sogenannte *Terzflöte*, eine Quart höher die *Quartflöte*, eine ganze Octave höher die *Octavflöte* oder *Pikkelflöte* oder *Piccolo*. Die genaue Einstimmung geschieht theils durch das Verstellen des Proppens, welcher das Kopfstück schließt, theils durch das Einsetzen verschiedener Mittelstücke.

Auf die Theorie der Zungenpfeifen gründet sich die Clarinette. Sie ist aus Holz gefertigt und besteht aus dem Mundstücke — einem aus Korkholz gedrehten schnabelförmigen Röhrchen, über dessen Oeffnung ein elastisches Blättchen entweder fest gebunden oder mit zwei Metallringen befestigt wird, so daß man das Blättchen mehr oder weniger fest andrücken kann — aus dem Kopfstücke, der sogenannten *Pirne*, aus zwei Mittelstücken mit den Grifflöchern und aus dem Schalltrichter. Man unterscheidet *B*-, *A*-, *C*- und *Es*-Clarinetten; die

letztere kommt namentlich bei der Militärmusik zur Anwendung, während die erstere das gebräuchliche Concertinstrument ist.

Die Oboe und das Fagott haben beide ein Mundstück, das sogenannte Rohr, welches aus zwei Rohrblättchen gebildet wird, die vorn in zwei schwach gewölbte breite Platten auslaufen und unten in eine kleine messingene Röhre zusammengefügt sind. Das Mundstück des Fagottes ist etwas größer, als das der Oboe. Die Oboe, gewöhnlich aus Burbaumholz gefertigt, besteht außerdem aus dem Kopfstücke — deren man der Einstimmung mit den übrigen Instrumenten wegen gewöhnlich mehrere hat —, aus dem Mittelstücke und aus dem Schalltrichter. Kopfstück und Mittelstück haben je drei Grifflöcher und außerdem meist noch einige Klappen. Das Fagott, welches ebenfalls aus Holz gefertigt wird, besteht aus zwei neben einander fortlaufenden Röhren, die unten am Ende zusammentreffen und aus vier einzelnen Stücken zusammengesetzt sind. Das Mundstück wird an eine dünne, gebogene messingene Röhre gesteckt, welche dem einen Stücke eingefügt ist, während bei der Oboe, deren ungebrochene Röhre vom Schalltrichter aus konisch sich verjüngt, das Mundstück in der Verlängerung der Aue liegt. Der Ton der Oboe vertritt die Discantstimme, während der des Fagottes dem Tenor oder Bariton näher kommt.

Die größere Pphharmonika oder das Harmonium, die kleinere Pphharmonika oder die Handharmonika, die Mundharmonika und die Maultrommel gehören auch zu den Zungenpfeisen. Bei dem Harmonium liegen Metallzungen in Röhren neben einander, von denen jede einzelne in Schwingungen geräth, wenn man durch Niederdrücken einer Claviaturtaste ein Ventil öffnet, durch welches dann aus einem Blasebalge Wind zuströmt. Der Blasebalg wird durch ein Pedal bewegt; doch sind noch besondere Register angebracht, durch welche man das Zuströmen des Windes mäßigen oder verstärken und somit den Ton in verschiedener Stärke erzeugen kann. Es eignet sich dies Instrument namentlich zu dem Vortrage von Chorälen. — Die Handharmonika ist im wesentlichen wie das vorige Instrument eingerichtet, hat jedoch nur einen beschränkten Umfang und der Blasebalg wird mit den Händen regiert. — Bei der Mundharmonika werden die nach Accorden gestimmten Zungen unmittelbar durch den Mund angeblasen — die Maultrommel besteht aus einer elastischen Stahlzunge, die durch Anschlagen mittelst des Fingers zum Schwingen gebracht wird, während man das ganze, stählerne oder eiserne Instrument zwischen die Zähne nimmt. Verschiedene Töne können hier nur dadurch erzeugt werden, daß man die Mundhöhle mittelst der Zunge und Lippen gehörig abändert.

Das großartigste musikalische Instrument ist die Orgel. Wir müssen uns hier auf wenige Andeutungen beschränken. Die wesentlichsten Theile einer Orgel sind die Blasebälge, deren Zahl und Größe von der Größe des ganzen Pfeifenwerkes abhängt, die Windkanäle, welche den Wind aus den Bälgen zu dem Werke führen, die Windlade nebst dem Windkasten zur Aufnahme des Windes aus den Windkanälen, das Pfeifenwerk — die Pfeifen stehen in Reihen auf der Windlade —, die Claviaturen, welche aus dem Manual und dem Pedal bestehen. Pfeifenreihen verschiedener Klangart nennt man Register; größere Orgeln enthalten eine reiche Menge von Registern, die in besonderen Gruppen aufgestellt sind und ihre besondere Windlade und auch wohl Claviatur haben. Nach diesen Gruppen unterscheidet man Hauptmanual,

Oberwerk, Rückposition und Nebenregister. Der Weg des Windes aus der Windlade zu den Pfeifen geht durch kleine Kammern (Cancellen) und wird durch Niederdrücken der Tasten, die mittelst sogen. Abstracken (Stäbe) zu Ventilen führen, geöffnet. Mit dem Pedale stehen namentlich die tiefen Stimmen in Verbindung. Die Pfeifen sind theils Labial-, theils Zungenpfeifen, von Holz oder von Zinn.

Die Drehorgel hat im Wesentlichen dieselben Bestandtheile. Durch Umdrehung einer Kurbel wird eines Theils der Blasebalg bewegt, anderen Theils eine Walze umgedreht, auf welcher in bestimmten Stellungen Stifte und Drähte angebracht sind, welche je nach ihrer Lage an Hebel drücken, durch welche die zu den Pfeifen führenden Ventile geöffnet werden.

Historisch sei noch bemerkt, daß die Windorgeln zuerst im 13. Jahrhunderte in Deutschland vorkommen, und daß ein Deutscher Namens Bernhard, Organist in Venedig, es gewesen ist, welcher das Pedal anbrachte. Vordem hatte man Wasserorgeln, deren eine schon 150 v. Chr. von Ctesibius gebaut wurde.

H. G.

Torsion. Wenn man auf einen Körper, der an einem seiner Enden eingeklemmt ist, eine Kraft senkrecht zu seiner Axe wirken läßt, so daß diese Kraft den Körper um seine Axe zu drehen sucht, so werden die anfänglich parallel zur Axe liegenden Fasern theilchen eine Verschiebung erfahren. Die Fasern erleiden eine Verdrehung (Torsion), und der Winkel, um welchen die einzelnen Theilchen aus ihrer Gleichgewichtslage gedreht werden, ist um so größer, je weiter sie vom festen Ende abstehen. — Dasselbe wird stattfinden, wenn auf einen Körper, der in seiner Axe festgehalten ist, zwei Kräfte in verschiedenen Normalebenen drehend wirken.

Man denke sich einen cylindrischen, an einem Ende fest eingeklemmten Stab, der durch eine am anderen Ende senkrecht auf die Axe wirkende Kraft gedreht werde. Das Moment dieser Kraft in Bezug auf die Axe sei durch M bezeichnet. Nun erfahren die Theilchen in jedem Querschnitte Verschiebungen, welche proportional sind dem Abstände x des Querschnittes von dem eingeklemmten Ende des Cylinders. Der Drehungs- oder Torsionswinkel φ läßt sich dann, auf Grund analytischer Betrachtungen, durch die Formel $\varphi = \frac{5 M x}{\pi E R^4}$ ausdrücken, in wel-

cher π das bekannte Verhältniß (3, 1415 . . .) des Umfanges zum Durchmesser des Kreises, R den Halbmesser des Cylinders, E den Modulus der Elasticität (s. Art. Elasticität) bezeichnet, während M und x die oben angegebene Bedeutung haben.

Nach dieser Formel ist also der Torsionswinkel am Ende des Cylinders dem Moment der einwirkenden Kraft und der Länge des Cylinders direct, der vierten Potenz des Cylinderhalbmessers aber umgekehrt proportional. Dies gilt innerhalb der Grenzen der vollkommenen Elasticität.

Für einen hohlen Cylinder, dessen äußerer Halbmesser r und dessen innerer r' ist, hat man den Torsionswinkel $\varphi = \frac{5 M x}{\pi E (r^4 - r'^4)}$.

Die ersten genaueren Versuche bezüglich der Drehungs- oder Torsionselasticität wurden von Coulomb an Seide, Haaren und feinen Metallfäden angestellt. Einen zu solchen Versuchen dienenden Apparat stellt umstehende Figur vor.

PP' ist der Fuß des Apparates, welcher drei Rollschrauben führt, TT' eine verticale Röhre von sehr festem Messing, CC' der untere Läufer, welcher in C' in eine Schraube ausgeht, die in Grade getheilt werden kann, oder auf welcher man eine Kreideeintheilung anbringt, SS' der obere Läufer, der in S' in eine Zange ausgeht, mittelst welcher man das Ende des Fadens *z.* befestigt; N die Zange, welche das andere Ende des Fadens festhält, und auf Cylinder von verschiedenem Gewicht oder von verschiedenen Halbmessern aufgeschraubt werden kann. Diese Cylinder können aus Metall bestehen, wenn man Versuche mit Metallsäden macht, für Seide und Haare aus Holz oder Elfenbein.



Beschwert man einen Faden, der an einem Ende befestigt ist, am anderen mit verschiedenen Gewichten, so verharrt er in Folge einer Drehung gewöhnlich in verschiedenen Stabilitätsstellungen. Man stellt dies, wenn man an der unteren Zange des Apparates eine Art von kleiner Wagsschale befestigt, auf welche man nach und nach Gewichte legt, wobei man jedesmal die Stellung eines Punktes des Index zur Kreideeintheilung der Schraube C' bemerkt, deren Centrum in der Verlängerung des Fadens ist. Eine Vereinigung mehrerer Fäden zeigt dieselbe Erscheinung.

Die Schwingungen eines Fadens, durch welche dieser in eine gewisse Gleichgewichtslage zurückzukehren sucht, sind gleichzeitig, d. h. sie werden alle in einer und derselben Zeit vollendet, wie groß auch ihre Weite sei, vorausgesetzt, daß diese Weite nicht eine gewisse von der Natur und Länge des Fadens abhängige Grenze überschreitet. Man befestige den Faden an die obere Zange, und beschwere ihn mit einem Gewicht von cylindrischer Form, stark genug, um ihn zu spannen, und zu schwach, um ihn auszuziehen, drehe dann den Cylinder, wenn das Gleichgewicht gut hergestellt ist, um 50, 100, selbst 180 Grad, mit der Vorsicht, ihn in seiner Axe zu erhalten, welche auch die Axe des Fadens ist, und überlasse nun den Letzteren sich selbst. Die jetzt erfolgenden Schwingungen zähle man von einem bestimmten Moment an, mittelst eines an dem Cylinder angebrachten Zeigers, und messe die Zeit mittelst einer guten Secundenuhr. Bei der Gleichzeitigkeit der Schwingungen muß aber die Drehkraft, welche sie bedingt, den Gesetzen der Mechanik zufolge, dem Drehungswinkel proportional sein.

„Die Schwingungszeiten verhalten sich zu einander, wie die Quadratwurzeln der den Faden spannenden Gewichte.“ Zur Darlegung dieses Gesetzes durch den Versuch sind geschmeidige und doch zähe Fäden erforderlich, welche durch ein sehr kleines Gewicht gespannt werden und ein beträchtliches Gewicht tragen können, ohne ausgezogen zu werden. Nimmt man, innerhalb dieser Grenzen, Gewichte, die sich *z.* B. unter einander wie die Zahlen 1, 4, 9, 16, 25 *z.* verhalten, so werden sich die Schwingungszeiten unter einander wie die Zahlen 1, 2, 3, 4, 5 *z.* verhalten.

Die Schwingungszeiten verhalten sich ferner wie die Quadratwurzeln aus den Längen des Fadens, d. h. wenn man verschiedene Längen eines und desselben Fadens nimmt, diese nach einander dem Apparate auf die Weise anpaßt, daß die

zwischen beiden Zangen enthaltenen Längen sich zu einander verhalten, wie die Zahlen 1, 4, 9, 16, 25 etc., und dieselben Schwingen läßt, indem man sie mit einem und demselben Gewichte beschwert, so werden sich die Schwingungszeiten zu einander verhalten, wie die Zahlen 1, 2, 3, 4, 5 etc. Da die Schwingungsdauer wächst mit der Länge des Fadens, so erkennt man, daß die Drehkraft dann abnimmt, und es läßt sich nachweisen, daß sie mit der Länge des Fadens im umgekehrten Verhältnisse steht; diese Voraussetzung hat das vorstehende Erfahrungsgesetz zur Folge.

Die Schwingungszeiten stehen im umgekehrten Verhältniß der Quadrate der Durchmesser der Fäden, d. h. nimmt man nach einander Fäden von derselben Substanz und derselben Länge, deren Durchmesser sich unter einander verhalten mögen wie die Zahlen 1, 2, 3 etc., und läßt man sie, nachdem man sie mit einem und demselben Gewicht beschwert hat, schwingen, so werden die Schwingungszeiten im umgekehrten Verhältnisse der Zahlen 1, 4, 9, . . . stehen. Hieraus läßt sich theoretisch der Schluß ziehen, daß die Drehkräfte sich zu einander verhalten wie die 4ten Potenzen der Durchmesser der Fäden, wenn man berücksichtigt, daß die Drehkräfte im umgekehrten Verhältniß der Quadrate der Schwingungszeiten stehen.

Die vorstehenden Resultate lassen sich zusammenfassen in der Formel $T^2 = \frac{\pi^2 P R^2}{2 g F}$, wo π das bekannte Kreisverhältniß, g die Beschleunigung der

Schwere für Paris, oder $9^m,8088$, wenn man das Meter als Längeneinheit, und eine Secagestimalsecunde als Zeiteinheit annimmt, T die Dauer einer Schwingung in Secunden ausgedrückt, P das cylindrische Gewicht, welches den Faden spannt, R der in Metern ausgedrückte Halbmesser, endlich F die Drehkraft des Fadens, welche durch ein Gewicht ausgedrückt wird, und zwar in Grammen oder Kilogrammen, je nachdem man das Gewicht P mittelst der einen oder anderen dieser Einheiten ausgedrückt hat. Diese Formel kann dazu dienen, den absoluten Werth der Drehkraft zu berechnen, und die verschiedenen Verhältnisse zwischen dieser Kraft und der Dauer der Schwingungen, ihrer Weite, dem Cylindergewicht, welches den Faden spannt, und seinem Halbmesser zu veranschaulichen. So hatte man z. B. bei einem Versuche von Coulomb mit einem Eisendrahte Nr. 12, wovon das Meter 159 Milligrammes wog, $T = 12'',1$, $P = 979,012$ Gr., $R = 0^m,02143$. Die Länge des Drahtes betrug nur $0^m,0203$. Man findet mittelst dieser Werthe seine Drehkraft so groß, daß man, um ihn um eine ganze Peripherie gedreht zu erhalten, auf das Ende des einen Armes eines Hebels von 1 Meter Länge, eine Kraft von $0^k,00968$ oder ungefähr 1 Centigramm ausüben müßte.

Die vorhergehende Formel erhält man unter der Voraussetzung, daß die Drehkraft dem Drehungswinkel proportional ist, und da sie ausdrückt, daß die Dauer der Schwingungen von der Weite unabhängig ist, so schließt man daraus rückwärts, daß, da die Erfahrung die Gleichzeitigkeit der Schwingungen nachweist, die Drehkraft dem Drehungswinkel proportional sein muß. Für denselben Faden, gespannt durch die cylindrischen Gewichte P und P' , von demselben Halbmesser

würde man haben $T^2 = \frac{\pi^2 P R^2}{2 g F}$ und $T'^2 = \frac{\pi^2 P' R^2}{2 g F'}$, und weil die Erfah-

rung giebt $\frac{T^2}{T'^2} = \frac{P}{P'}$ oder $\frac{T}{T'} = \sqrt{\frac{P}{P'}}$, so schließt man daraus $F = F'$, d. h. die Drehkräfte eines Fadens sind unabhängig von den Gewichten, welche ihn spannen.

Für ungleiche Länge desselben Fadens, gespannt durch dasselbe Gewicht, hat man $T^2 = \frac{\pi^2 P R^2}{2 g F}$ und $T'^2 = \frac{\pi^2 P R^2}{2 g F'}$ oder $\frac{T^2}{T'^2} = \frac{F'}{F}$, und weil die Erfahrung giebt $\frac{T^2}{T'^2} = \frac{L}{L'}$ oder $\frac{T}{T'} = \sqrt{\frac{L}{L'}}$, wo L und L' die verschiedenen Längen eines sonst gleichartigen Fadens sind, so folgt daraus: $\frac{F'}{F} = \frac{L}{L'}$, d. h. die Drehkräfte stehen im umgekehrten Verhältniß der Längen.

Sind endlich zwei Fäden von derselben Substanz und von verschiedenen Durchmessern D und D' durch ein und dasselbe Gewicht gespannt, so hat man $\frac{T^2}{T'^2} = \frac{F'}{F}$, und da erfahrungsmäßig $\frac{T}{T'} = \frac{D'^2}{D^2}$ oder $\frac{T^2}{T'^2} = \frac{D'^4}{D^4}$, so ist auch $\frac{F'}{F} = \frac{D'^4}{D^4}$, d. h. die Drehungskräfte verhalten sich wie die 4ten Potenzen der Durchmesser. —

Die hier aufgestellten Gesetze kommen nun bei dem Instrument in Betracht, das unter dem Art. *Drehwaage* beschrieben ist. —

Wenn die Fasern eines Körpers, z. B. einer cylindrischen Welle, einer Torsion unterliegen, so erfahren dieselben nicht nur eine Ausdehnung, sondern auch eine Compression, und dieser Umstand wird sich bei den Versuchen, welche den Widerstand des Körpers gegen eine Trennung seiner Theile durch Torsion betreffen, geltend machen müssen.

Navier *) giebt für diesen Widerstand rücksichtlich einer Walze vom Halbmesser R die Formel $C \frac{\pi R^3}{2}$, wo C eine erfahrungsmäßig zu bestimmende Constante ist, die sich auf den Festigkeits- und Elasticitätsmodul (s. Art. Festigkeit und Elasticität) bezieht. Diese Formel drückt das statische Moment aus, durch welches der Zusammenhang der einzelnen Fasern aufgehoben und die Welle abgedreht oder abgewürgt werden kann. Für eine Welle mit quadratischem Querschnitt, dessen Seite a ist, hat man die Formel $C \frac{4 a^3}{3}$.

Man kann die Constante C als den Festigkeitsmodul (s. Art. Festigkeit, Bd. III. S. 122) rücksichtlich der Torsion bezeichnen. Versuchen zufolge beträgt C bei Gußeisen 30000 bis 66000 Pfund, wovon der Sicherheit wegen wohl der fünfte Theil genommen wird. Dasselbe gilt für Schmiedeeisen. Der Festigkeitsmodul des Stahles ist aber noch einmal so groß als der des Eisens. Für hölzerne

*) Leçons etc. T.I. p. 110.

Wellen kann man den zehnten Theil des Sicherheitsmoduls nehmen, welchen man für eiserne Wellen ausgemittelt hat.

Die Verdrehung oder Torsion, welche eine Welle unter gegebenen Verhältnissen erfährt, läßt sich nach der zu Anfang dieses Artikels aufgestellten Formel für den Torsionswinkel bestimmen. Dieser Winkel darf nach Gerstner den zehnten Theil eines Grades nicht übersteigen.

Theoretische Untersuchungen über die Torsion sind auch von Volsson *) und Cauchy **) vorgenommen worden, mit denen die Versuche Savart's ***) über die Torsion starrer Stäbe in Einklang stehen.

Torsionswaage ist unter dem Art. Drehwaage beschrieben und rücksichtlich ihrer Anwendung zu elektrischen und magnetischen Messungen nochmals in den Art. Elektrometer und Magnetismus in Betracht gezogen. Wir wollen hier nur bemerken, daß Rieß mittelst dieser Vorrichtung elektrische Messungen angestellt hat, aus denen deutlich genug hervorgeht, daß die Anwendung dieses Instrumentes einen hohen Grad von Genauigkeit zuläßt. Rieß ****) hat seine Erfahrungen über Einrichtung und Gebrauch der Torsionswaage, wie über die Wahl der Methoden zur Bestimmung elektrischer Dichtigkeiten in einem besonderen Aufsatz, der des Belehrenden in dieser Beziehung viel enthält und auf den wir hier verweisen, zusammengestellt.

Trägheit, s. Artikel Bewegung, B. I. S. 809 und Artikel Materie, Bd. IV. S. 929.

Trägheitsmoment. Bewegt sich ein Körper oder ein System materieller Punkte, die auf eine unveränderliche Weise mit einander verbunden sind, um eine mit ihm festverbundene Linie dergestalt, daß die letztere dabei in Ruhe bleibt, so findet eine Drehung des Körpers um diese Linie statt, die man dann die Drehungsaxe nennt (vergl. Art. Axe, Bd. I. S. 652). Jeder außerhalb der letzteren liegende Punkt des Körpers beschreibt nun während der Drehung einen Kreis, dessen Ebene auf der Axe senkrecht ist. Reflectirt man auf zwei Punkte, so sind die Bogen, welche dieselben zu gleicher Zeit beschreiben, einander ähnlich und enthalten auch gleich viel Grade; die absoluten Geschwindigkeiten dieser Punkte verhalten sich aber zueinander wie ihre Abstände von der Drehungsaxe. Bezeichnet man die Bogen durch b, b' und die betreffenden Abstände durch r, r' , so ist also $b:b' = r:r'$. Die absolute Geschwindigkeit der Punkte, deren Abstand von der Axe gleich 1 ist, nennt man die Winkelgeschwindigkeit des Systems, welche eine allen Punkten gemeinschaftliche Größe ist. Setzt man $r' = 1$ und bezeichnet den entsprechenden Winkel b' durch α , so ist $b:\alpha = r:1$, daher $b = \alpha r$. Die Drehung ist nun eine gleichförmige oder ungleichförmige, je nachdem α mit der Zeit t gleichmäßig wächst oder nicht. In der Gleichung $\frac{b}{t} = \frac{\alpha r}{t}$ ist $\frac{\alpha}{t}$ die Winkelgeschwindigkeit des Systems, und wenn man dieselbe durch ω bezeichnet und den Abstand eines beliebigen Punktes von der Drehungsaxe durch r , so hat man für die absolute Geschwindigkeit v eines solchen Punktes die Gleichung $v = r\omega$.

*) Mém. de l'Acad. T. VIII. p. 454.

**) Exer. math. T. IV. p. 40.

***) Ann. de Chim. et de Phys. T. XLI. p. 373. Gerstner's Repert. Bd. I. S. 73.

****) Pogg. Ann. Bd. LXXI. S. 359.

Ist ein Körper einmal in eine gleichförmige Drehung versetzt, so wird er in dieser Bewegung, falls sich keine Hindernisse entgegenstellen, nach dem Gesetze der Trägheit unausgesetzt verharren. Die Massen der materiellen Punkte mögen durch $m, m', m'' \dots$ und ihre Abstände von der Drehungsaxe durch $r, r', r'' \dots$ bezeichnet sein. Wird nun die Bewegung des Systems dieser Punkte (oder des Körpers) durch gleichzeitig auf alle Punkte ausgeübte Stöße bewirkt, so kann man sich eine jede dieser Stoßkräfte in zwei andere Kräfte zerlegt denken, von denen die eine in einer Ebene, die auf der Axe senkrecht ist, liegt, während die andere mit der Axe parallel ist. Die mit der festen Axe parallelen Seitenkräfte werden durch den Widerstand derselben aufgehoben. Dagegen erhalten die Punkte $m, m', m'' \dots$ in Folge der andern Seitenkräfte Geschwindigkeiten, die durch $v, v', v'' \dots$ bezeichnet sein mögen. Die entsprechenden Bewegungsgrößen sind dann $mv, m'v', m''v'' \dots$, welche den Punkten allein zukommen würden, wenn sie frei wären. Ist nun aber w die Winkelgeschwindigkeit des sich drehenden Systems, so sind die auf den Halbmessern $r, r', r'' \dots$ senkrechten Geschwindigkeiten der Punkte m, m', m'', \dots nach dem Obigen $rw, r'w, r''w \dots$, und die entsprechenden Bewegungsgrößen (rücksichtlich der kreisförmigen Bewegung) $mrw, m'r'w, m''r''w \dots$, die mit jenen Bewegungsgrößen im Gleichgewicht sein werden.

Nun sind die statischen Momente der mit den Geschwindigkeiten $rw, r'w, r''w \dots$ sich drehenden Massen $m, m', m'' \dots$, $mrw \cdot r, m'r'w \cdot r', m''r''w \cdot r'' \dots$. Man denke sich die Punkte $m, m', m'' \dots$ und die Richtungen aller betreffenden Geschwindigkeiten auf eine Ebene projectirt, die auf der Axe senkrecht steht, und durch einen Punkt o derselben geht. Durch $p, p', p'' \dots$ seien die senkrechten Linien bezeichnet, die von dem Punkte o auf die Projectionen der Geschwindigkeiten $v, v', v'' \dots$ gezogen sind. Die Momente der Kräfte $mv, m'v', m''v'' \dots$ sind dann $mvp, m'v'p', m''v''p'' \dots$. Durch diese Momente wird dem Systeme eine gewisse Winkelgeschwindigkeit w beigebracht. Nun ist nach dem bisherigen

$$mr^2w + m'r'^2w + m''r''^2w + \dots = mvp + m'v'p' + m''v''p'' + \dots$$

Aus dieser Gleichung läßt sich w , sobald die übrigen Größen gegeben sind, finden. Bezeichnet man die Summe der Momente auf der rechten Seite der Gleichung durch P , so folgt

$$w = \frac{P}{mr^2 + m'r'^2 + m''r''^2 + \dots}$$

Das Product aus der Masse eines Körpertheilchens in das Quadrat seines Abstandes von der Drehungsaxe nennt man das Trägheitsmoment dieses Theilchens, und die Summe der Trägheitsmomente sämtlicher Theilchen eines Körpers ist das Trägheitsmoment des Körpers in Bezug auf die Drehungsaxe.

Das Trägheitsmoment kommt also bei der drehenden Bewegung eines Körpers in Betracht, und daher auch vielfach bei Maschinen. Die Winkelgeschwindigkeit eines Körpers, der sich um eine Axe dreht, ist gleich dem Moment der bewegenden Kraft, durch welche die Drehung des nachher sich selbst überlassenen Körpers bewirkt wird, dividirt durch das Trägheitsmoment des Körpers in Bezug auf die Drehungsaxe.

Bezeichnet man durch Σ eine Summe, die sich auf alle materiellen Punkte eines Körpers erstreckt, so hat man $w = \frac{P}{\Sigma m r^2}$. Den bequemsten Weg zur Bestimmung des Trägheitsmomentes verschiedener Körper bietet die Integralrechnung. Ist nämlich dm das Differentialelement der Masse eines Körpers, so verwandelt sich die Summe $\Sigma m r^2$ in das Integral $\int r^2 dm$, welches auf die ganze Masse des Körpers bezogen das Trägheitsmoment desselben in Bezug auf die Drehungsaxe ausdrückt.

Hat man eine Linie oder eine sehr dünne Stange von gleichförmiger Dichte, die sich um den Punkt b drehen kann, und ist M ihre Masse und l ihre Länge, so ist das Differentialelement der Masse, wenn $bc = x$ ein veränderliches Stück dieser Linie bezeichnet, $\frac{M dx}{l}$ und das Trägheitsmoment des Elementes $\frac{M x^2 dx}{l}$, insofern x seine Entfernung vom Drehpunkte b ist. Durch Integration dieses Differentialausdruckes findet sich das Trägheitsmoment des Stückes $bc = x$, nämlich $\frac{M}{l} \int x^2 dx = \frac{M x^3}{3l}$ und hieraus, wenn man $x = l$ setzt, das der ganzen Linie $= \frac{M l^2}{3}$.

Eine solche Linie wird hiernach durch eine gegebene Kraft so um ihren Endpunkt b gedreht werden, als ob nur der andere Endpunkt träge und in diesem der dritte Theil der Masse der Linie concentrirt wäre.

Das Trägheitsmoment einer homogenen Scheibe oder auch eines Rades von sehr geringer Dicke ist in Bezug auf eine durch den Mittelpunkt gehende Drehungsaxe gleich $\frac{M r^2}{2}$, falls M die Masse und r den Halbmesser der Scheibe bezeichnet. Die Rotation der Scheibe um die Ase geschieht hiernach so, als ob die halbe Masse in einem Punkte des Umfangs concentrirt oder längs des letztern irgendwie vertheilt wäre. — Dieselbe Formel gilt auch für das Trägheitsmoment eines Cylinders, der sich um seine Ase dreht.

Das Trägheitsmoment eines rechtwinkligen homogenen Parallelepipeds läßt sich auf eine seiner drei zusammenstoßenden Kanten beziehen, deren Längen durch a, b, c bezeichnet sein mögen. Ist ρ die Dichte des Parallelepipeds, so ist seine Masse $M = \rho a b c$. Das Trägheitsmoment A in Bezug auf die Kante a ist nun $A = \frac{1}{3} M (b^2 + c^2)$, das Trägheitsmoment in Bezug auf die Kante b ist $B = \frac{1}{3} M (a^2 + c^2)$, und in Bezug auf die Kante c : $C = \frac{1}{3} M (a^2 + b^2)$.

Für ein gleichartiges Ellipsoid, das sich um einen seiner drei Hauptdurchmesser drehen kann, hat man, wenn man die letzteren durch $2a, 2b, 2c$ bezeichnet, die Trägheitsmomente $A = \frac{1}{3} M (b^2 + c^2)$, $B = \frac{1}{3} M (a^2 + c^2)$, $C = \frac{1}{3} M (a^2 + b^2)$, wo die Masse M des Ellipsoids von der Dichte ρ gleich $\frac{\pi \rho a b c}{3}$ ist.

Für eine Kugel hat man das Trägheitsmoment $\frac{2}{5} M r^2$. Dreht sich aber die Kugel nicht um irgend einen ihrer Durchmesser, sondern um eine Ase, die vom Mittelpunkte der Kugel um d absteht, so ist das Trägheitsmoment $M (d^2 + \frac{2}{5} r^2)$.

Für einen Kegel ist das Trägheitsmoment in Bezug auf die Axe seiner Figur $\frac{3}{10} M r^2$, wo r den Halbmesser der Basis bezeichnet.

Die Formeln für die Trägheitsmomente eines Kugelabschnittes und einer aus zwei gleichen Kugelabschnitten zusammengesetzten Linse finden sich im Artikel *Wendel*, Bd. V. S. 167 ff.

Ist das Trägheitsmoment eines Körpers oder auch eines Systems von Körpern in Bezug auf eine Axe, die durch den Schwerpunkt geht, bekannt, so läßt sich daraus leicht das Trägheitsmoment desselben Körpers in Bezug auf jede Axe, die mit der ersten parallel ist, ableiten.

Den Anfangspunkt der Coordinaten verlege man in den Schwerpunkt und nehme die erste Axe für die der z . Die Coordinaten des Punktes, in welchem die zweite Axe die Ebene der x und y schneidet und auf welchen diese zweite Axe senkrecht steht, seien α und β . Ferner sei durch a der Abstand des Schwerpunktes von der zweiten Axe bezeichnet, durch r der Abstand eines beliebigen Elementes dm des Körpers von der ersten Axe, durch r' der Abstand desselben von der zweiten Axe. Nun ist das bekannte Trägheitsmoment $\int r^2 dm$ und das verlangte $\int r'^2 dm$. Es ist aber $r'^2 = (x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 = x^2 + y^2 - 2\alpha x - 2\beta y + \alpha^2 + \beta^2$, $x^2 + y^2 = r^2$, $\alpha^2 + \beta^2 = a^2$, also $\int r'^2 dm = \int r^2 dm - 2\alpha \int x dm - 2\beta \int y dm + a^2 \int dm$. Da der Schwerpunkt auf der Axe der z liegt und Anfangspunkt der Coordinaten ist, so sind die Integrale $\int x dm$ und $\int y dm$ gleich Null $\int dm$ ist die Masse des Körpers gleich M ; daher $\int r'^2 dm = \int r^2 dm + M a^2$.

Das verlangte Trägheitsmoment wird hiernach erhalten, wenn man zu dem gegebenen die Masse des Körpers, multipliziert mit dem Quadrat des Abstandes des Schwerpunktes von der neuen Axe, addirt *).

Das Trägheitsmoment irgend eines Körpers ist in Bezug auf eine Axe, die durch den Schwerpunkt geht, kleiner als in Bezug auf jede andere Axe, die mit jener parallel ist. Die Trägheitsmomente eines und desselben Körpers sind aber gleich rücksichtlich aller Axen, die untereinander parallel und gleichweit vom Schwerpunkte entfernt sind.

Das Trägheitsmoment eines Körpers ändert sich sowohl mit der absoluten Lage der Axe, auf welche es bezogen wird, als auch mit der Richtung dieser Linie.

Das kleinste unter allen Trägheitsmomenten, die ein Körper haben kann, entspricht einer der drei Hauptaxen, welche sich in seinem Schwerpunkte schneiden. So erscheint unter den Trägheitsmomenten eines gleichartigen Ellipsoids dasjenige als das kleinste, welches auf den größten seiner rechtwinkligen conjugirten Durchmesser bezogen ist. —

Verhalten sich zwei Massen M , M' , die um dieselbe Axe rotiren, zu einander umgekehrt wie die Quadrate ihrer Entfernungen r , r' von der Drehungsaxe, so haben sie gleiche Trägheitsmomente $M r^2$ und $M' r'^2$. Die eine Masse kann dann durch die andere ersetzt werden, ohne daß dadurch der Bewegungszustand des Systems, in das sie eingefügt werden, eine Veränderung erfährt. Hiernach kann man denn auch eine Masse M' bestimmen, die in der Entfernung r' denselben Einfluß (rücksichtlich des rotirenden Systems) übt, wie eine gegebene Masse M in der Ent-

*) Poisson, *Traité de Méc.* 2. edit. Deutsch von Stern. Bd. II. S. 41.

fernung r . Denn da $Mr^2 = M'r'^2$ ist, so hat man $M' = \frac{Mr^2}{r'^2}$, so daß die zu bestimmende Masse gleich ist dem Trägheitsmoment der gegebenen Masse, dividirt durch das Quadrat der Entfernung r' jener Masse von der Drehungsaxe. Hiermit ist die gegebene Masse, wie man zu sagen pflegt, auf die Entfernung r' reducirt; M' ist dann die reducirte Masse. — Von diesem Satz wird vielfach Gebrauch gemacht (s. Artikel *Vendel*, Bd. V. S. 166 ff.).

Haben zwei demselben rotirenden Systeme zugehörige Massen gleiche Winkelgeschwindigkeit, so stehen ihre lebendigen Kräfte in demselben Verhältniß zueinander wie ihre Trägheitsmomente, so daß dann, wenn die letzteren gleiche Größe haben, auch die ersteren einander gleich sind.

Trocknen. Das Trocknen der Körper ist eine der wichtigsten Operationen bei der quantitativen Analyse sowohl der unorganischen als organischen Substanzen. Fast alle Körper ohne Ausnahme sind hygroskopisch, d. h. sie ziehen in einem bedeutenderen oder geringeren Grade Feuchtigkeit aus der Luft an sich; außerdem enthalten die Krystalle zwischen ihren Lamellen häufig Wasser, das ihnen von der Bereitung her noch anhängt, eingeschlossen. Dieses von der Luft aufgenommene oder mechanisch eingeschlossene Wasser vermehrt das eigentliche Gewicht der zu untersuchenden Substanzen, so daß man nie zu übereinstimmenden Resultaten gelangen würde, wenn man nicht vorher durch die Entfernung dieses unwesentlichen Bestandtheiles einen bestimmten Ausgangspunkt für die Analyse erlangt hätte. Wo man dies unterlassen, wie bei der so beliebten Bezeichnung „lufttrocken“, hat die Analyse wenig oder gar keinen Werth.

So einfach die Entfernung des anhängenden Wassers auch erscheinen mag, so ist sie es in der Wirklichkeit doch nicht. Die Grundbedingung ist, daß dadurch nicht zugleich wesentliche Bestandtheile der zu untersuchenden Substanzen verloren gehen. Das Verfahren, welches man eingeschlagen hat, richtet sich darnach, ob die Substanz leichter oder schwerer eine Zersetzung erleidet. Diejenigen unorganischen Substanzen, welche kein Wasser oder andere flüchtige Bestandtheile als wesentlich enthalten, lassen sich am leichtesten von der Feuchtigkeit befreien. Man erhitzt sie in einem Porzellan- oder Platiniegel über der Spirituslampe bis zum Glühen. Am schwierigsten erreicht man diesen Zweck bei denjenigen Substanzen (Salzen), die schon an der Luft Wasser, d. h. Krystallwasser, also einen wesentlichen Bestandtheil, verlieren, wie z. B. Glaubersalz, kohlensaures Natron u. s. w. Sie sind sehr leicht dadurch zu erkennen, daß sie beim Liegen an der Luft trübe werden und nach und nach zu Pulver zerfallen (verwittern). Um die hygroskopisch oder mechanisch eingeschlossene Feuchtigkeit möglichst zu entfernen, preßt man die Salze zwischen dicken Bogen Fliesspapier und wiederholt dies mit erneutem Papier so oft, bis von diesem keine Feuchtigkeit mehr aufgenommen wird. —

Andere Salze, wie z. B. schwefelsaure Magnesia, Seignettesalz u. s. w. verlieren zwar an der Luft, da diese nie ganz trocken ist, das Krystallwasser nicht, wohl aber verwittern sie in künstlich getrockneter Luft. Man verfährt hier wie beim Glaubersalz und läßt dann die Substanz in dünnen Lagen an einem vor Staub und directem Sonnenlicht geschützten Orte einige Zeit lang liegen. — Wieder andere Substanzen sind an der Luft beständig, aber sie erleiden in der künstlichen Wärme eine Veränderung. Diese trocknet man über Schwefelsäure in einem

I.

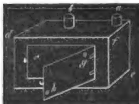


durch eine Glasglocke abgeschlossenen Luft-
raum (Figur I.): a ist eine ebene, matt-
geschliffene Glasplatte, b ein Schälchen
mit concentrirter Schwefelsäure und c ein
Uhrglas, welches die feingeriebene Sub-
stanz enthält. Der untere Rand der Glocke
ist ebenfalls mattgeschliffen und damit ein
dichter Verschluss hergestellt werde, wird
derselbe mit Talg bestrichen. Wirkt der
Sauerstoff der Luft verändernd auf die Substanz ein, so wird diese ganz auf ähn-
liche Weise unter der Glocke einer Luftpumpe getrocknet. Enthält die Substanz
Ammoniak, das leicht fortgeht, so hat man dafür zu sorgen, daß die wasserfreie
Luft Ammoniak enthält. Man setzt dann unter die Glocke ein Schälchen mit ge-
branntem Kalk, dem etwas Salmiak beigemischt ist.

Ganz besondere Sorgfalt ist auf das Trocknen der organischen Substanzen zu
verwenden, da diese mit großer Begierde das Wasser aus der Luft an sich ziehen
und meistens mit großer Hartnäckigkeit festhalten. Man muß um so mehr hier alle
Aufmerksamkeit auf die richtige Gewichtsbestimmung der zu analysirenden Substanz
verwenden, da selbst kleine Fehler bedeutende Differenzen in den Resultaten zur
Folge haben. Je nach der Temperatur, bei der die Substanzen das Wasser abgeben
und je nachdem dasselbe mehr oder weniger hartnäckig zurückgehalten wird, kommen
hier verschiedene Apparate in Anwendung.

Erleiden die Substanzen bei 100° C. keine Zersetzung, so wendet man ge-
meinhin das Wasserbad (s. Figur II.) an. Es ist dies ein länglich viereckiger

II.



Kasten, der aus Kupferblech gefertigt ist und je
nachdem als Wärmequelle ein Kohlenfeuer oder
eine Spirituslampe benutzt wird, von d nach f
eine Ausdehnung von 8 bis 10 oder von 5 bis
6 Zoll erhält. Der innere Raum o ist auf
fünf Seiten in einem Abstände von $\frac{1}{2}$ bis 1 Zoll
von der äußeren Hülle d e umgeben, ohne damit
zu communiciren. Der dadurch gebildete äußere
Raum wird etwa zur Hälfte mit Wasser gefüllt
und dann die Oeffnung b ganz, dagegen die Oeff-
nung a mit einem Kork verschlossen, in welchen
eine Glasröhre eingepaßt ist, damit die Wasserdämpfe abziehen können. Durch die
Löcher g und h in der Thüre, welche den innern Raum verschließt, wird ein bestän-
diger Luftwechsel herbeigeführt, der das Trocknen beschleunigt. Die zu trocknenden
Substanzen stellt man auf Uhrgläsern oder in kleinen Tiegeln in den innern Raum.
Bei Substanzen, welche das Wasser bei 100° C. nur sehr langsam abgeben, bringt
man noch einen trocknen Luftstrom mit in Anwendung. Ein sehr bequemer Apparat
ist in Fig. I. (s. folgende Seite) abgebildet. Hier wird der trockne Luftstrom
einfach durch die Erwärmung hervorgebracht. Der Kasten a b ist gleichfalls von
Kupferblech angefertigt und besitzt bei einer Tiefe und Höhe von 4 Zoll eine
Länge von 8 bis 12 Zoll. In diesem ist der 2 Zoll breite und 1 Zoll hohe
Kanal c d eingelöthet, mit welchem der aufsteigende, oben offene Kanal e f in
Verbindung steht. Der letztere ist an 3 Seiten von der mit a b communicirenden,

I.



II.



a f erwärmt wird, so steigt die erwärmte Luft in demselben, was zur Folge hat, daß durch i Luft von außen in den Kanal eintritt, über die zu trocknenden Substanzen hinströmt und die verdunstende Feuchtigkeit mit fortführt. Damit nun aber durch i nicht kalte Luft eintritt und die Temperatur erniedrigt, bringt man unter dem Kanal eine mehrmals hin- und herlaufende Röhre an, durch welche die von außen eintretende Luft ihren Weg nehmen muß, so daß sie mit einer Wärme von 100° C. bei i anlangt.

Man kann den trocknen Luftstrom auch durch einen Aspirator (s. Bd. I. S. 363) hervorbringen. Dann schüttet man die zu trocknende Substanz in eine Glasröhre (Fig. III., s. nebenstehend), deren Schenkel b mittelfst eines Korkes mit einer Chlorcalciumröhre oder einer mit Schwefelsäure gefüllten Flasche und der Schenkel a auf ähnliche Weise mit dem Aspirator verbunden wird. Die Glasröhre wird in ein Wasserbad, das aus Weißblech gefertigt ist, gelegt. Dasselbe besitzt eine runde Form und der Deckel ist mit zwei Ausschnitten für die Schenkel der Röhre versehen. In dem Maße, wie das Wasser aus dem

III.



Aspirator ausfließt, strömt die Luft durch das Chlorcalciumrohr und die Röhre hindurch. Sehr gute Dienste leistet hier der Mohr'sche Aspirator (Bd. I. S. 367).

Setzt das hygroskopisch oder mechanisch eingeschlossene Wasser bei 100° C. nicht oder nur äußerst langsam fort und verträgt die Substanz eine höhere Temperatur (110° , 120° C. und mehr), so bedient man sich allgemein des Luft- oder Oelbades. Das Luftbad ist ein Kasten wie Figur II. S. 442, nur daß die äußere Hülle fehlt. Durch eine Oeffnung wird von oben her mittelfst eines Korkes ein Thermometer in den innern Raum eingeführt. In letzterem nimmt ein Gestell von Draht die Uhrgläser auf. Will man die Abkühlung von außen möglichst beschränken, so füllt man über den ganzen Apparat eine Hülle von Wappe, die vorn offen ist.

Bei Substanzen, welche das Wasser mit äußerster Hartnäckigkeit zurückhalten, beschleunigt man das Trocknen durch Luftwechsel und einen luftverdünnten Raum. Dann giebt man aber dem Luftbad eine cylindrische Form, bei der die Höhe etwas mehr als der Durchmesser beträgt. Oben ist das Luftbad mit zwei Oeffnungen versehen, von denen die eine das Thermometer, die andere ein unten verschlossenes Glasröhrchen, in welchem sich die Substanz befindet, aufnimmt. Die letztere bringt

man mittelst eines Korfes mit einem Chlorcalciumrohr in Verbindung und dieses wieder mit einer Handluftpumpe. Hat man das Luftbad bis zur bestimmten Temperatur erwärmt, so pumpt man die feuchte Luft aus dem Chlorcalciumrohr und dem Glasröhrchen aus; nach wenigen Minuten aber läßt man wieder Luft einströmen, die durch das Chlorcalcium völlig getrocknet wird, pumpt wieder aus und fährt damit fort, bis die Substanz kein Wasser mehr abgibt. In der Regel erreicht man dies in sehr kurzer Zeit.

Das Wasserbad (Fig. II. S. 442) kann zugleich als Oelbad dienen; man füllt es dann mit gut gereinigtem Brennöl. Auch dadurch kann man eine Temperatur über 100° C. erzielen, wenn man statt des Wassers eine Lösung von Chlorcalcium, Rochsalz, Chlorzink u. s. w. erhitzt. Bei einiger Uebung kann man in der Regulirung der Flamme der Berzelius'schen Lampe eine solche Fertigkeit erlangen, daß, wenn erst die gehörige Temperatur erreicht ist, diese für längere Zeit auch genau dieselbe bleibt.

Außer den angeführten sind noch verschiedene andere Apparate (von Mitscherlich, Omelin, Berzelius) angegeben worden, doch besitzen diese vor jenen keine Vorzüge und reicht man mit jenen vollkommen aus. Häufig kommt es indessen vor, daß man Substanzen zu trocknen hat, die sich in Kugelröhren befinden, um später in irgend einer Gasart erhitzt zu werden. Kann man die an die Kugel angelegten Röhren nicht wie in Fig. III. S. 443 aufbiegen, so bedient man sich eines besonderen Luftbades, eines länglichen Kastens aus Eisenblech, der mit einem übergreifenden Deckel versehen ist. An den schmalen Seiten sind zwei Ausschnitte zur Aufnahme der Röhrenenden angebracht. Durch den Deckel wird das Thermometer eingeführt, dessen Kugel der des Apparates möglichst nahe stehen muß. Mittels eines Aspirators wird während des Trocknens ein Luftstrom durch die Kugelröhre gesogen.

Manche Körper verändern aber während des Trocknens ihre Zusammensetzung, ohne dabei eine sichtbare Veränderung zu erleiden. In Folge dessen machen sich bei den Analysen gewisser Substanzen beträchtliche Differenzen geltend, wie dies noch unlängst beim Saponin zwischen Rochleder und Schwarz einer- und Overbeck und Volley andererseits stattgefunden hat. Auf diesen Umstand war Rochleder schon früher aufmerksam geworden, weshalb er sich veranlaßt sah, sich einen besonderen Trockenapparat zu construiren *), der sich leicht zusammenlegen läßt, wenig kostet und es möglich macht, eine Substanz innerhalb einer Stunde vollkommen zu trocknen. In einem Oelbade befindet sich ein Gefäß aus starkem Glase, das dazu dient, die zu trocknende Substanz in einem Glasröhrchen aufzunehmen. Ein Hahn des Gefäßes wird an eine Luftpumpe geschraubt; auch steht der Apparat mit einem Gefäß, am besten ein Sack von Kautschuk, der mit Kohlensäure gefüllt ist, in Verbindung. Nachdem die Luft aus dem Glasgefäße ausgepumpt worden ist, läßt man durch Oeffnen eines Hahnes Kohlensäure einströmen. Dann erhitzt man das Oelbad auf den gehörigen Temperaturgrad, während von Zeit zu Zeit Kohlensäure zugelassen wird, die in einem Chlorcalciumrohr ihre Feuchtigkeit verliert. Pumpt man dann die Kohlensäure aus, so giebt diese die Feuchtigkeit in dem Chlorcalciumrohr ab. Im luftleeren Raum erhitzt, geben die Substanzen schnell das Wasser ab, das durch die trockne Kohlensäure fortgeführt wird. Eine Drydation ist hierbei unmöglich.

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVI. S. 208.

Man hat bei diesen Bestimmungen ferner dafür zu sorgen, daß die Substanzen beim Wägen nicht wieder Wasser anziehen. Man deckt daher das Ubrglas mit einem andern zu und läßt die Substanz unter einer Glocke neben Schwefelsäure erkalten. Größere Sicherheit gewährt die von Kolbe angegebene Vorrichtung *), eine schwach federnde Klammer aus dünnen Messing- oder Kupferstreifen, die an den beiden Enden zusammengelörbet und darauf durch Biegen in der Mitte soweit von einander getrennt sind, daß sie eine Ellipse bilden und beim Einschieben der aufeinandergelegten, genau passenden Ubrgläser vermöge ihrer Elasticität noch einen Druck auf dieselben ausüben. Ein solcher Apparat eignet sich ganz besonders zum Trocknen und Wägen von Filtern und mit dem Filter zu wägender Niederschläge. Das Trocknen wird, je nachdem eine höhere oder niedrigere Temperatur nöthig ist, in einer der beschriebenen Vorrichtungen ausgeführt. Man läßt dann die eingeklemmten Ubrgläser entweder an der Luft oder unter einer Glocke neben Schwefelsäure erkalten. Allerdings schließen zwei aufeinander gelegte Ubrgläser nie so vollkommen, daß nicht Luft von außen eintreten könnte, doch ist die Menge der dadurch eingeführten Feuchtigkeit so geringe, daß man selbst nach halbstündigem Verweilen auf der Waagschale keine erhebliche Gewichtsunahme bemerkt. Es ist stets anzurathen, nach der ersten Wägung das Trocknen fortzusetzen, dann wieder zu wiegen und das Trocknen nur erst zu beendigen, wenn zwei aufeinanderfolgende Wägungen genau übereinstimmen. — Bei weitem umständlicher ist eine früher von Bischof angegebene Methode, um beim Trocknen genaue Resultate zu erhalten **).

Das Trocknen ist ferner eine Operation, die in chemischen und pharmaceutischen Laboratorien bei großen und kleinen Arbeiten fast täglich vorkommt, denn die Niederschläge z. B. müssen getrocknet werden. Dies geschieht in eigenen Vorrichtungen: dem Trockenschrank oder dem Sandbade. Obgleich beide einen vielfachen Gebrauch zulassen, so häufen sich doch nur höchst selten die Arbeiten so, daß sich eine besondere Heizung bezahlt mache. Man hat daher beide mit Feuerungen in Verbindung gebracht, die mehr oder weniger stetig im Gange sind und zu anderen Zwecken gebraucht werden. So hat man z. B. in pharmaceutischen Laboratorien den Trockenschrank mit dem sogenannten *Peindorff'schen* Apparat in Verbindung gebracht und zwar der Art, daß man das Feuerrohr, wo es aus dem Apparat tritt, erst hinabsteigen, dann unter einer Bodenplatte hergehen und nun wieder hinaufsteigen ließ. Dadurch wird aber der Zug des Feuers bedeutend geschwächt und das Reinigen der Züge erschwert. Außerdem reicht auch die aus dem Apparate entweichende Wärme, sobald die Plase nicht im Gange ist, nicht hin um den Trockenschrank gehörig zu erhitzen. Auch bei den gewöhnlichen Destillirblasen hat man sonst wohl den Trockenschrank angebracht; hier machte sich natürlich auch der Uebelstand geltend, daß, wenn man nicht destillirte, auch der Trockenschrank nicht erwärmt wurde.

Einen sehr empfehlenswerthen Trockenschrank hat Mohr ***)) angegeben. Er hat diesen mit dem Küchenherde in Verbindung gebracht. Das Feuerrohr biegt sich, wo es aus dem Herde kommt, mit zwei kurzen Röhrenstücken nach dem Trockenschranke hin, geht dort zwischen 2 Blechplatten in den Schrank und mündet sogleich in einen flachen, viereckigen Kasten aus Schwarzblech, der rundum etwa $3\frac{1}{2}$ Zoll

*) Supplemente zum Handwörterbuch der reinen und angewandten Chemie. S. 425.

**) Schweigger's Journ. Bd. XL. S. 484.

***)) Lehrbuch der pharmaceutischen Technik. 2te Aufl. S. 47. Braunschweig 1853.

von den Wänden des Schrankes absteht. Dieser Kasten ist der eigentliche Wärmeapparat; er eignet sich sehr gut zum Aufstellen der verschiedenen Geräthe, welche zur Aufnahme der zu trocknenden Dinge dienen. In seinem ganzen Umfange steigt ein Strom heißer Luft in die Höhe, wodurch die oberen Theile des Schrankes erwärmt werden. Die Wände des Schrankes sind von Holz, innen mit starkem Papier überzogen. In einem Abstände von 5 Zoll sind daran übereinander Latten angenagelt, die zur Aufnahme von Hürden dienen. Die letzteren bestehen aus viereckigen Rahmen von ungefähr 2 Zoll hohen Latten; die Böden sind mit angenagelten dünnen Stäbchen von $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ Zoll Zwischenraum bezogen. Doch bleibt hier auf der einen Seite ein Raum von $2\frac{1}{2}$ Zoll Breite frei. Ordnet man die Hürden so, daß dieser Raum sich abwechselnd rechts oder links befindet, so muß die warme Luft hin und her über die zu trocknenden Substanzen streichen und sich deshalb vollkommen mit Feuchtigkeit sättigen, ehe sie entweicht. Der Luftwechsel im Schranke darf nicht stark sein; die Risse und Spalten genügen. Oben und seitlich am Schranke bohrt man einige runde Löcher, die man mit Korken ganz oder theilweise verschließt und dann zeitweise öffnet. In den Galicodruckereien hat man in Bezug auf die Trocknräume die Erfahrung gemacht, daß es vortheilhafter sei, den Raum sehr heiß werden zu lassen und dann alle Luft auf einmal zu entfernen; als durch einen beständigen, starken Luftwechsel die Erhöhung der Temperatur zu sehr zu beschränken. — Steht kein Raum zu ebener Erde zur Verfügung, so kann man den Schrank noch in einiger Höhe an der Wand hängend anbringen, doch giebt man ihm dann vortheilhafter eine größere Breite als Höhe.

Auch zum Heizen des Sandbades findet sich wohl sonst unbenutzt fortgehende Wärme. Es besteht aus einer viereckigen, aus starkem Eisenblech gefertigten, mit vier aufgebogenen und an den Ecken umgelegten, $1\frac{1}{2}$ Zoll hohen Platte, unter der die Feuerluft fortgeht. Auf derselben schüttet man zwei Finger dick hoch gereinigten, groben Sand, in welchem man die Gefäße mit dem zu trocknenden Inhalte aufstellt. Um eine Verunreinigung durch Staub zu verhüten, umgiebt man das Sandbad wohl auch mit einem Glaschrank.

Auch in den Gewerben kommt das Trocknen vielfach vor und dazu dienen eigne große Räume, die auf verschiedene Art geheizt werden. Hat man es hier mit Geweben zu thun, so bringt man zuerst die sogenannten Hydroextractoren oder Centrifugaltrockenmaschine (Bd. V. S. 821) zur Anwendung, durch welche in höchstens 10 Minuten 60 pCt. Wasser entfernt werden und das so schädliche Auswinden ganz beseitigt wird. — Von Interesse ist die Einrichtung der Trockenkammern bei den öffentlichen Waschanstalten, die in neuerer Zeit auch bei uns Eingang und Verbreitung gefunden haben. Die durch den Hydroextractor mehr als halb getrocknete Wäsche kommt dann auf Gestelle, sogenannte Kasse, welche auf Eisenschienen und Räder ruhend, aus der Trockenkammer herausgeschoben und mit Wäsche behangen, in dieselbe wieder zurückgeführt werden. Sie sind 6 Fuß hoch, ebenso lang, 14 Zoll breit, vorn und hinten mit einer hölzernen Wand versehen, welche beide Wände mit eisernen Schließen verbunden und dazwischen mit hölzernen Stangen zum Aufhängen der Wäsche versehen sind. Sind alle Gestelle im Trockenraume aufgestellt, so ist dieser durch die vordern Wände, stehen sie sämmtlich außerhalb, durch die rückwärtigen geschlossen, so daß in beiden Fällen die Hitze in der Kammer zusammengehalten wird. Die Heizung der Trockenkammern wird durch Defen bewirkt, welche ähnlich denen in Treibhäusern und Holzdarren, aus horizontal unter den Eisenbahnen der

Trockengefäße liegenden gußeisernen Röhren bestehen, die $\frac{3}{4}$ Zoll dicke Wände und eine Ausfütterung mit feuerfesten Ziegeln erhalten, so daß der Rauchkanal in den Röhren einen Fuß Durchmesser behält. Die Feuerung liegt vor dem Rauchkanal, der nach der Länge der Trockenkammer einmal hin- und zurückgeht und dann unmittelbar in den Schornstein mündet. Die Wärme im Trockenraume darf nicht über 40° R. steigen, weil sonst die Wäsche gelb wird; sie wird auf die angegebene Weise gleich am Boden gleichmäßig vertheilt. Die Wasserdämpfe werden durch hölzerne Schläuche aus dem Trockenraum fortgeführt. Die Wäsche wird hier in 10 bis 30 Minuten vollständig getrocknet.

v. Babo hat auch die Anwendung der Centrifugalkraft im chemischen Laboratorium in Vorschlag gebracht *). Der Apparat ist ganz der in allen Lehrbüchern der Physik angegebenen Centrifugalmaschine nachgebildet, nur erfordert der Zweck andere Dimensionen und viel größere Stärke der einzelnen Theile. Zum Hervorbringen einer hinreichend schnellen Rotation läßt sich natürlich jede mechanische Vorrichtung benutzen, welche einer senkrecht stehenden Spindel eine Geschwindigkeit von 20 bis 30 Umdrehungen in der Secunde zu geben vermag, sei die Uebertragung durch Riemenwerk oder Rollen hervorgebracht oder wende man eine Schraube ohne Ende, getrieben durch ein Rad mit schiefstehenden Zähnen, an, wie sie zu ähnlichem Zweck im Großen benutzt wird. Das Nähere der Einrichtung dieses Apparates kann man aus der Zeichnung, die v. Babo seinem Aufsatz beigegeben hat, ersehen.

KrySTALLINISCHE Niederschläge kann man in ganz kurzer Zeit von der Mutterlauge befreien. Das Papierfilter, auf dem sich der Niederschlag befindet, bringt man auf ein ebenso zusammengelegtes Leinwandfilter, welches in einen genau einem Winkel von 60° entsprechenden Trichter von feinem Drahtnetz gelegt ist. Eine Rotation von 2 bis 10 Minuten reicht hin zur Entfernung der Mutterlauge. Läßt man länger, etwa bis zu 30 Minuten, rotiren, so erhält man Krystalle fast farblos aus einer ganz dunkelbraunen Mutterlauge. — Bei pulverigen und gallertartigen Niederschlägen, die sich so fest an das Filter anlegen, daß sie die Poren desselben vollständig verstopfen, muß man an die Stelle der Filtration die Decantation setzen, d. h. man setzt die Flüssigkeit mit dem darin suspendirten Niederschlage in einem durch einen Glasstopfel verschlossenen Glase der Rotation aus. Ist die Differenz der specifischen Gewichte beider Substanzen nur irgend erheblich, so erfolgt die Trennung so rasch und so vollständig, daß der Niederschlag sich fest auf dem Boden ansetzt und die Flüssigkeit ganz klar darüber steht. Bei Metalloryden und unlöslichen Metallsalzen erfolgt schon nach 2 bis 3 Minuten eine vollständige Trennung. In anderen Fällen läßt sich die Trennung durch Zusatz einer Flüssigkeit beschleunigen, welche die Adhäsion des festen Körpers an der Flüssigkeit vermindert, wie Alkohol, Aether, oder auch durch eine bestimmte Temperatur. Nur bei organischen Körpern tritt die Trennung oft erst nach Stunden ein.

Das Trocknen spielt auch bei der Aufbewahrung der Lebensmittel eine große Rolle. Das Verderben derselben wird freilich durch die Einwirkung des Sauerstoffes der Luft herbeigeführt, aber diese wird unterstützt von dem Wassergehalt der Lebensmittel. Entfernt man diesen oder beschränkt man denselben wenigstens bedeutend, so kann man einer größern Dauer sicher sein. Ein directes Austrocknen bringt man hier jedoch selten in Anwendung; nur bei weniger cultivirten Wäskern, z. B. in

*) Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXII. S. 301.

Südamerika, bei den Indianern Nordamerikas und im hohen Norden trocknet man Fleisch und Fische direct. Unsere Hausfrauen wenden verschiedene andere Methoden an, z. B. das Einsalzen des Fleisches, das Einmachen von Früchten und Gemüsen in Zucker, Essig und Weingeist, die alle darauf hinauslaufen, daß sie den genannten Lebensmitteln Wasser entziehen oder dasselbe wenigstens in einer Weise fesseln, die ihm jede fernere Betheiligung an der Zersetzung jener untersagt.

Obgleich der Apotheker schon seit Jahrhunderten eine große Menge Pflanzen dadurch aufbewahrt, daß er ihnen durch Trocknen das Wasser entzieht, so hat man diesen Fingerzeig doch nur erst in der neuesten Zeit benutzt, um Gemüse aller Art, die nur in einer beschränkten Zeit des Jahres vorhanden sind, auch für den Winter zu erhalten. Nur beim Obste ist das Trocknen desselben seit langer Zeit gebräuchlich. Hier ist eine von Lucas in Hohenheim angegebene Darre *), welche sich fast in jeder Küche, in der sich ein eiserner Plattenherd befindet, aufstellen läßt, wegen der Billigkeit und Zweckmäßigkeit sehr zu empfehlen. Die Darre selbst kostet nur 3½ Thlr., und außerdem ist in dem Herde selbst noch eine kleine Feuerung anzubringen, da der Herd nicht fortwährend gefeuert wird. Diese besondere Feuerung verbraucht in 18 Stunden nur 12 bis 15 buchene Holzscheite. Kleine Birnen trocknen hier schon in 10, größere in 18 und Kirschen in 6 bis 8 Stunden. Das Obst ist in jeder Hinsicht schön und sehr schmackhaft. Die Darre, die überall leicht anzubringen ist, kann auch zum Trocknen von Bohnen und anderen vegetabilischen Nahrungsmitteln dienen.

Allerdings hatte man das Trocknen bereits seit dem 15. Jahrhundert für die Erhaltung der pflanzlichen Nahrungsmittel zu wiederholten Malen in Vorschlag und versuchsweise auch zur Ausführung gebracht, aber ohne Erfolg, weil man nicht die gehörige Sorgfalt darauf verwendete, so daß die Gemüse eine Veränderung in Geschmack und Geruch erlitten. Dann war noch das große Volumen der getrockneten Pflanzen für die Aufbewahrung und den Transport ein großes Hinderniß. Alle diese Schwierigkeiten hat endlich ein französischer Gärtner *Majson* glücklich überwunden, so daß in wenigen Jahren das Trocknen der Gemüse bereits zu einem ansehnlichen Industriezweige herangewachsen ist. Man trocknet sie, nachdem sie sorgfältig ausgelesen und gepuht sind, auf Horden von grober Leinwand in einem Zimmer, das durch warme Luft, die in Röhren circulirt, auf 35 bis 40° C. erwärmt wird. Das langsame Austrocknen ist durchaus nothwendig, denn sonst verlieren die Gemüse ihren Geschmack und die Farbe. Auch für die nun folgende Operation, das Pressen, ist es sehr wesentlich, damit den Pflanzentheilen nicht die Fähigkeit verloren geht, beim späteren Gebrauch durch Einweichen in Wasser ihre ursprüngliche Form wieder anzunehmen. Durch starke hydraulische Pressen wird das Volumen der getrockneten Gemüse um $\frac{1}{3}$ verringert und dadurch ist das Problem der Aufbewahrung der pflanzlichen Nahrungsmittel auf das Vollständigste gelöst.

Will man die getrockneten Gemüse in der Haushaltung verwenden, so übergießt man sie mit kaltem Wasser und läßt sie damit 6, 8 bis 10 Stunden stehen, damit sie das Wasser, welches sie beim Trocknen verloren haben, wieder aufnehmen. Bei warmem Wasser verringert sich die Zeit auf 4 bis 6 Stunden. Die Gemüse blähen sich auf, nehmen die ursprüngliche Form und Farbe wieder an und der ihnen eigene Geruch entwickelt sich ganz deutlich, so daß die Gemüse nun in allen Stücken

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVII. S. 388.

den frischen gleichen. Diese Operation ist von großer Wichtigkeit und ist mit großer Sorgfalt darauf zu achten, daß die Einwässerung eine genügend lange Zeit andauert, wenn man sicher sein will, schwachsaure Speisen zu erhalten. Einmal war es die Reue der Sache und dann die Nichtbeachtung des eben erwähnten Umstandes, welche eine Zeit lang bei uns die Verbreitung der getrockneten Gemüse verhinderten. Doch scheinen sich die Vorurtheile gelegt zu haben; denn nach dem Vorgange der Fabrik zu Frankfurt am Main wird jetzt auch eine in Berlin errichtet. In Frankreich, wo die Gemüse überhaupt eine große Rolle spielen, haben die getrockneten von *Hollet et Comp.* und *Morel Fatis et Comp.* bereits eine außerordentliche Verbreitung gefunden. Ein jeder Krämer in den größeren Städten führt ein ganzes Heer derselben. In der entsprechenden Jahreszeit verarbeitet die erstere Fabrik täglich gegen 100 Centner frische Gemüse, von denen beim Quetschen 24 Centner ausgemerzt werden, während der Rest beim Trocknen auf 11 Centner zusammenschrumpft. Das Austrocknen erfordert täglich $9\frac{3}{4}$ Centner Steinkohlen, um die Luft der Trockenräume zu erwärmen; außerdem sind täglich noch fast 3 Ctr. Steinkohlen erforderlich zur Erzeugung des Wasserdampfes, durch welchen die hydraulischen Pressen in Bewegung gesetzt werden. — Die Fabrik von *Morel Fatis et Comp.* verarbeitete 1853 über 10,200 Centner Gemüse; im folgenden Jahre wurde sie bedeutend vergrößert und außerdem noch eine andere außerhalb Paris errichtet. W. W.

Trombe, f. Wetterfäule.

Uhren, f. Chronometer und Pendel.

Ultramarin nennt man eine der schönsten und technisch-wichtigsten blauen Mineralfarben. Obgleich der Lasurstein (vobekandrischer Lasurspath, armenischer Stein, *Lapis Lazuli*) bereits dem Alten unter dem Namen *Sapphir* bekannt war, wurde daraus doch erst seit dem 11., allgemeiner aber seit dem Ende des 15. Jahrhunderts die unter dem Namen *Ultramarin* bekannte blaue Farbe, die sich durch große Schönheit und Dauer auszeichnete und namentlich in der Oelmalerei so hoch geschätzt wurde, bereitet. Damit sich das Mineral leicht pulvern ließ, wurde es gegläht, dann mit Wasser abgeschreckt und das Pulver in einen aus Harz, Wachs und Leinöl bereiteten Teig eingeknetet. Dann wurde die Masse wiederum in Wasser geknetet, so lange dieses sich noch blau färbte. Nach einiger Ruhe setzte sich aus dem Wasser das Ultramarin ab. Selbst aus dem besten Lasursteine belief sich die Ausbeute nur auf 2 bis 3 pCt. Das schönste Ultramarin wurde in Italien bereitet und bildete dort einen beträchtlichen Handelsartikel. Der Lasurstein aber findet sich nur in Asien (in der kleinen Bucharei, Tibet, China und Sibirien). Sei es nun, daß seit der Entdeckung des Berlinerblau und anderer blauer Farben eine verminderte Nachfrage nach Ultramarin und deshalb auch eine beschränkte Fabrikation stattfand oder daß die Zufuhr des Rohmaterials bedeutend abgenommen hatte, genug, die Preise gingen immer mehr in die Höhe, so daß zu Anfange unseres Jahrhunderts die Unze der besten Sorte 25 bis 50 Thaler kostete. Dadurch wurde natürlich die Verwendung sehr beschränkt, während die Maler im 16. Jahrhundert fast verschwenderisch mit dieser Farbe umgingen.

Die Kostbarkeit dieser Farbe gab schon sehr frühzeitig zu Versuchen Veranlassung, dieselbe künstlich darzustellen. Die Nachahmungen bestanden aber nur in blauen, meistens mit Kobaltoryd gefärbten Glasflüssen, die aber keineswegs das

Ultramarin ersetzen konnten. Ueber die chemische Natur der Farbe war man gänzlich im Unklaren. Ganz allgemein sah man als die Ursache der Färbung das Kupferoxyd an, bis Marggraf 1758 nachwies, daß in dem Lazurstein wohl Eisen, aber kein Kupfer vorhanden sei. Klaproth's Analyse gab 1795 zuerst Aufschluß über die näheren Bestandtheile des Lazursteines; er fand Kiesel-erde, kohlensauren Kalk, Alaunerde, schwefelsauren Kalk, Eisenoxyd und Wasser. Guyton Morveau hob zuerst den Schwefelgehalt hervor und glaubte, daß die Färbung von Schwefeleisen herrühre. Dem widersprechen jedoch Element und Desormes, die wohl stets Schwefel, aber keineswegs Eisen in dem Ultramarin gefunden hatten. Sie wiesen zuerst einen bedeutenden Natrongehalt darin nach. Phillips stellte dann zuerst *) die Vermuthung auf, daß der Lazurstein vielleicht seine Farbe einer eigenthümlichen, nicht metallischen Substanz verdanke und empfahl diese Ansicht der Prüfung der Chemiker.

Unter diesen Umständen mußten die Versuche, das Ultramarin künstlich herzustellen, erfolglos bleiben. Da gab endlich der Zufall beachtungswerthe Fingerzeige. Tassaert zu St. Gobin fand beim Aufreißen eines Herdes eines Schmelzofens für Soda eine blaue Substanz, die Bauquelin für künstliches Ultramarin erklärte. Ähnliches hatte auch Herrmann in Schönebeck und Kuhlmann beim Schmelzen der Soda beobachtet. In Folge dessen setzte die Société d'Encouragement zu Paris einen Preis von 6000 Frs. für die künstliche Bereitung des Ultramarins aus, der endlich 1828 Guimet in Toulouse zusetzte. Dieser hatte mit Hilfe der von Element und Desormes ausgeführten Analyse des natürlichen Lapis Lazuli Ultramarin von allen Sorten bereitet und zwar war die künstliche Farbe feuriger als die natürliche; gleichzeitig auch billiger. Guimet lieferte die Unze für 6 $\frac{2}{3}$ Thaler. Für lange Zeit war Guimet der einzige Fabrikant und sein Verfahren ist stets Geheimniß geblieben. Auf der Industrieausstellung zu London wurde Guimet für seine Entdeckung die große Medaille zuerkannt. Zu gleicher Zeit mit Guimet war es aber auch dem Professor E. G. Gmelin in Tübingen gelungen, das Ultramarin künstlich zu bereiten. Er nahm keinen Anstand seine Untersuchungen zu veröffentlichen **) und zu einer weiteren Verfolgung im Großen aufzunehmen. Nun traten verschiedene Chemiker auf, die Methoden zur Bereitung des Ultramarins veröffentlichten. Wir nennen davon Tiremon, Robiquet, Elsner, Winterfeld, Brückner ***), Hermbstädt, Brunner ****), Büchner *****) und Dippel. Sehr bald entstanden auch Fabrikanlagen zu Wermelskirchen, Nürnberg, Meissen und an andern Orten und dadurch, daß sich Wissenschaft und Technik die Hände reichten, ist das Ultramarin, welches früher nur dem höchsten Luxus diente, für das alltägliche Leben zugänglich gemacht. Die blaue Verbindung des künstlichen Ultramarins ist allen Eigenschaften und Analysen nach die gleiche, wie die im Lazurstein und den verwandten Mineralien Hauyn, Roscan und Sodolith. Für die Bereitung des Ultramarins giebt es zwar eine Menge von Vorschriften, doch

*) Schweigger's Journ. Bd. XLI. S. 239.

**) Naturwissenschaftl. Abhandl. herausgeg. v. einer Gesellschaft Württembergs. 1828. Bd. II. S. 191. Schweigger's Journ. Bd. LIV. S. 360.

***) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XXXIII. S. 257.

****) Dingler's polyt. Journ. Bd. XCIV. S. 400. Bd. C. S. 266.

*****) Ebend. Bd. L., LXXXIII., LXXXIV., XCIV., C. und CXXXIV.

sind sie der Hauptsache nach ziemlich dieselben. Reiner Thon (Porzellanerde) wird mit Soda und Schwefel bei Luftabschluß erhitzt, bis die Masse gestintert ist. Diese Operation nennt man das Verglühen. Die gestinterte Masse hat ein graues, oft gelb-grünes Ansehen und ist locker und schwammig. Sie wird auf Mühlen erst gemahlen bis zur äußersten Feinheit, dann sorgfältig ausgewaschen und getrocknet. Ahermals gemahlen und durch feine Haarsiebe geschlagen, erhält man grünes Ultramarin. Diese keineswegs feurige Farbe wird entweder in seinen verschiedenen Nummern, die vom Apfelgrün bis ins Blaugrün übergehen, in den Handel gebracht oder zur Ueberführung in die blaue Farbe verwendet. Die ganze Schwierigkeit liegt in der Darstellung des grünen Ultramarins; besitzt dieser eine schöne Farbe, so wird auch das blaue Ultramarin sehr feurig. Die Ueberführung des grünen in das blaue Ultramarin bietet, unter dieser Voraussetzung nämlich, keine Schwierigkeiten. Die Umwandlung kann auf verschiedene Art geschehen, indessen wendet man in den Fabriken keine andere Methode an, als das Rösten des grünen Ultramarins mit geringen Mengen Schwefel bei einer niedrigen Temperatur und unter Luftzutritt, so daß der Schwefel zu schwefelliger Säure verbrennt, wobei zugleich ein Theil Natrium im Material sich oxydirt und dann aus dem Ultramarin als schwefelsaures Natron durch Auswaschen entfernt wird. Die Ausführung dieses Röstens geschieht im Großen nach zweierlei Verfahrensarten. Bei der deutschen Methode bedient man sich kleiner eiserner Cylinder, welche über einem Feuerraum fest eingemauert sind, bei der französischen einer Art gemauerten Muffelöfen oder solcher Herdöfen, in welche die Kamme der Heizung nicht eintreten kann.

Die Röstung mit Schwefel währt so lange an, bis bei der herausgenommenen Probe seit der letzten Beschickung mit Schwefel die blaue Farbe an Intensität und Reinheit nicht mehr erheblich zugenommen hat. Wollte man das Rösten weiter fortsetzen, so würde die Farbe wieder verlieren. Eine gleichförmigere Bläunung erreicht man dadurch, daß man das Rösten öfter unterbricht, die Masse auslaugt, naß macht, trocknet und siebt. Sonst bleiben darin kleine Körner, die innen grünlicher sind, als erstere. Bevor das Ultramarin in den Handel gelangt, wird es abermals ausgelaut, getrocknet und gefärbt. Wird das Auswaschen nicht sorgfältig genug ausgeführt, so bacht die Farbe entweder in den Fässern zusammen oder es bilden sich darin, wenn sie längere Zeit der Luft ausgesetzt ist, härtere Klumpen. Näheres über die Fabrikation findet man in Dingler's polytechn. Journal Bd. CXLII. S. 351.

Die Tiefe der blauen Farbe hängt theils von der Intensität des Grün ab, theils aber auch vom Mahlen, weil mit der Feinheit des Pulvers die Tiefe der Farbe abnimmt. Vom sanften Himmelblau geht die Farbe bis ins feurige roth-schillernde Dunkelblau. Die hellsten Sorten, die theilweise sich von selbst ergeben oder durch weiße Zusätze erzielt werden, bilden ein mehr zusammenhängendes dichteres Pulver, die dunkleren sind locker, sammetartig. Durch Mischen beider erhält man die Uebergangsstufen.

Bei alledem ist die chemische Natur dieser prachtvollen Farbe immer noch ein Räthsel, das seiner Lösung harret. Daß der Schwefel die Färbung bedingt, weiß man wohl, aber in welcher Verbindung er in dem Ultramarin enthalten ist, darüber eben ist nichts bekannt. In neuester Zeit sind zwar vielfach Analysen von Ultramarin veröffentlicht, aber entschieden ist dadurch nichts und deshalb müssen wir auf

die Originale verweisen *). Ohne thätige Mithilfe des Fabrikanten kann diese wichtige Frage nicht gelöst werden. Denn alle Muster dieser Farbe, die im Handel vorkommen, selbst wenn das Fabrikat ganz vorzüglich gut ausgewaschen und entschwefelt ist, sind dennoch kein reines Ultramarin. Dazu kommt ferner, daß Thon und Kiesel Erde, sowie deren Verunreinigungen in sehr verschiedenen Verhältnissen von dem reinen Ultramarin assimilirt werden und daß dieser Umstand, des Gewinnes wegen, von allen Fabrikanten in geringerem oder höherem Grade ausgebeutet wird. Und dann hat ja der Ton je nach dem Auffindungsorte eine verschiedene Zusammensetzung, so daß auf die Analysen fast gar kein Werth zu legen ist. Obgleich nun dieser nicht unwichtige chemische Industriezweig aus einer einfachen wissenschaftlichen Untersuchung hervorgegangen ist und es keinem Zweifel unterworfen ist, daß eine wissenschaftliche Feststellung der chemischen Constitution dieser künstlichen Farbe nicht allein die Wege, welche man bei der Fabrikation zu verfolgen hat, sicherer zeigen, sondern auch gewiß zu ganz unerwarteten Verbesserungen führen würde, so zeigen sich doch die Fabrikanten in ihrer Hilfe zur Lösung dieser wichtigen Frage sehr lässig und engherzig, weil sie befürchten, ihre vermeintlichen Geheimnisse preiszugeben. Solche existiren aber in der Ultramarinfabrikation gar nicht mehr.

Ein Vorschlag von Wagner **) verdient hier alle Beachtung. Da es nach dem Vorstehenden unmöglich ist zum Ziele zu gelangen, so giebt er den Rath, den bisherigen Weg ganz zu verlassen und statt das Ultramarin mit oxydirenden und reducirenden Agentien zu behandeln, die Schwefelungsstufen des Aluminiums und die Verbindungen derselben mit Schwefelnatrium darzustellen und diese dem Abbrennen mit Schwefel zu unterwerfen.

Außer als Anstrichfarbe wird das Ultramarin auch in großen Massen in der Industrie verbraucht und hier hat es seines billigeren Preises wegen den blauen Kobaltfarben großen Abbruch gethan. Massenhaft wird diese Farbe verbraucht in den Zuckerraffinerien und bei der Papierfabrikation und zwar aus demselben Grunde, aus welchem die sorgsame Hausfrau die feine Wäsche blaut. Die Wäsche hat ebenso wie das Papier und der Zucker sehr selten eine rein weiße Farbe, häufiger einen Stich ins Gelbe, der durch Blau, die Complementärfarbe zu Gelb, aufgehoben wird. Das Blauen des Zuckers hat jüngst zu einem ergötzlichen Streite zwischen dem bekannten Chemiker Runge und dem Dr. Reich in Stettin, Veranlassung gegeben, der endlich an dem richtigen Orte, dem Kladderadatsch, seinen Austrag fand. Bei der Bereitung einer Farbe mag allerdings unser saurer Wein eine Spur Schwefelwasserstoffgas aus dem ultramarinhaltigen Zucker entwickeln, aber von einer allgemeinen Vergiftung kann hier gar keine Rede sein. — Zum Blauen der Wäsche kann man das Ultramarin ebenso verwenden und dies geschieht auch beim Blauen der Garne und baumwollenen oder leinenen Gewebe. Da aber das im Wasser suspendirte Ultramarin leicht theilweise zusammenballt und dann auf den Gespinnsten und Geweben Flecke von verschiedenen Tönen hervorbringt, so rührt man erst 2 Theile Talkerde und dann 1 Theil Ultramarin in Wasser ein und läßt beide in der Ruhe zu Boden setzen. Nach der Entfernung des Wassers

*) Stölzel, Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCVII. S. 33. Breunlin, ebend. S. 293. Gentile, Dingl. polyt. Journ. Bd. CXL. S. 223 und Bd. CXLI. S. 116. Wilkens, Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIX. S. 21.

**) Jahressb. über d. Fortschritte d. chem. Technologie. 1835. Leipzig, D. Wigand 1836.

vermischt man den Niederschlag mit einer Lösung von Leim oder Gummi, 1 Loth als Klebmittel auf 1 Pfund Niederschlag und verdampft das Wasser, bis das Ganze eine Teigconsistenz besitzt, aus der man Kugeln oder Täfelchen formt, die beim Gebrauch natürlich aufgeweicht oder zerkleinert werden müssen. Andere suspendiren das Ultramarin (20 bis 30 Loth je nach dem Grad der Bleiche) in einer Auflösung von 10 Loth grüner Seife in 45 Quart Wasser; dieses Bad reicht auf 50 Pfund Garn oder Gewebe aus. Doch müssen hierbei alle Körner aus dem Ultramarin durch Beuteln entfernt werden. Auch Wolle wird auf diese Weise gebleicht, doch muß auch hier die Bleiche durch schwefelige Säure vorausgegangen sein. — Seit einiger Zeit verwendet man das Ultramarin auch beim Bedrucken der Zeuge (Ratone) in ziemlicher Menge, seitdem die Fabrikanten ein sehr feines Ultramarinpulver liefern und auch das Albumin in fester Form käuflich ist. Man fixirt das Ultramarinblau, indem man das Zeug durch heißes Wasser passieren läßt. Man erhält dadurch zwar reinere Farben, aber sie sind weniger satt als die durch Dämpfe erzeugten *). Grüne schlägt vor, hierbei das Albumin durch Casein zu ersetzen **). — Man löst das Letztere in Soda und um es beim Dämpfen unlöslich zu machen, setzt man etwas Baumöl zu. Beim Dämpfen bildet sich eine Delfeife und das Casein wird gefällt. Das Del trägt außerdem sehr viel zur guten Druckbarkeit der Farbmasse bei und verhindert ein Hartwerden der bedruckten Stellen. Da ein Theil desselben zurückbleibt und dem Casein die Steifheit benimmt. Auf 1 Quart Wasser rechnet man zur Verdickung 16 Loth Casein, 2 bis 3 Loth krystallisirte Soda und 3 bis 4 Loth Baumöl. Mit dieser Masse reibt man das Ultramarin ab.

Will man das Ultramarin auf seine Farbenstärke prüfen, so wägt man von den zu vergleichenden Proben gleiche Mengen ab (50 bis 100 Gram.), bringt jede in ein besonderes Glas und tröpfelt nun unter Umschütteln verdünnte Schwefelsäure (1:10) hinzu, bis die blaue Farbe in eine röthliche verwandelt ist und man keinen blauen Punkt mehr bemerkt. Die verbrauchte Schwefelsäure entspricht dem Grade der färbenden Kraft. — Guimet mischt 1 Gram. der zu untersuchenden Ultramarine mit 6 Gram. Schlammkreide, theils auf einer Marmorplatte, theils auf einem glatten Vogen Papier. Das dunkelste Gemenge entspricht hier der besten Sorte. Man ordnet nun die Gemenge von der hellsten bis zur dunkelsten Nuance und setzt zu dem letzten wiederum nach und nach soviel Kreide, bis es den Farbton der hellsten Nuance angenommen hat. Hätte man dazu z. B. von Neuem 6 Gram. gebraucht, so würde dieses Ultramarin das doppelte Farbvermögen und folglich auch den doppelten Handelswerth von jenem besitzen.

Bei der Verwendung des Ultramarin für den Zeugdruck sind diese Prüfungen von großer Wichtigkeit. Außer auf die Farbenstärke hat man hier sein Augenmerk auch vorzüglich auf das Verhalten zu den Verdickungsmitteln und auf die Feinheit des Ultramarin zu richten. Das Verhalten gegen das Gieweiß ist sehr verschieden. Außer daß sich die Mischung, oft binnen kurzer Zeit, sehr verdickt, findet auch eine Zersehung der Farbe statt. Das beste Ultramarin ist dasjenige, welches die Säulniss am wenigsten hervorruft. Man mischt daher 2 Gram. Ultramarin mit 2 Gram. Gieweiß, setzt dann 10 Kubikcentimeter lauwarmes Wasser hinzu und läßt das Ganze 18 Stunden lang bei 20° stehen. Um das Ultramarin auf seine Feinheit zu prü-

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLIII. S. 295.

**) Polyt. Centralbl. 1855. S. 11 f.

fen, stellt man drei Schalen, eine von 3 Gentilitern, eine von 25 Gentilitern und eine von 1 Liter Inhalt so über einander auf, daß die Flüssigkeit aus der einen in die andere fließen kann. Dann rührt man 2 Gran Ultramarin in der obersten und kleinsten Schale mit einer genügenden Menge Wasser an und läßt dann 1 Liter Wasser in einem feinen Strable darauf fließen. Dann läßt man den Inhalt der drei Schalen sich sehen, gießt das Wasser ab und prüft die Feinheit des Bodensatzes zwischen den Zähnen. Die Feinheit der Farbe wird auch durch die Loupe beurtheilt oder man reibt eine Probe mit dem Finger auf Postpapier ein oder auf einem polirten Messingbleche. Wird letzteres dadurch gerigt, so ist die Farbe zu verwerfen. — Auf die Feinheit legt man hier den höchsten Werth. Die Farbe wird durch die Formen beim Bedrucken in die Faser hineingedrückt und darf keine Erhabenheiten auf den Zeugen hervorbringen. Bei groben Farben würden außerdem auch die Formen und Walzen sehr leiden. Außerdem muß sich das Ultramarin auch fest gegen Alaun und Säuren zeigen; dies ist auch bei der Papierfabrikation von großer Wichtigkeit. Um das Ultramarin auf die Alaunwiderstandsfähigkeit zu prüfen, übergießt man 0,05 Gram. der Farbe in einem Probirgläschen mit einer genau abgemessenen Menge der kalten Alaunlösung und schüttelt dann gut um. Nach Minuten, Stunden und Tagen kann man dann die fortschreitende Zerstörung des Ultramarins beurtheilen. Dasjenige Ultramarin, welches bei gleicher Farbenkraft am längsten widersteht, ist das bessere.

Die Frage, wie viel das Ultramarin zu seiner Fixirung an Bindemitteln bedarf, ist gleichfalls wichtig, da sich auch hier die verschiedenen Sorten sehr ungleich verhalten. Einige gebrauchen sehr viel, andere sehr wenig. Nicht allein, daß man bei letzteren spart, sondern das Ultramarin verliert auch durch jedes Bindemittel an Klarheit; je weniger man also von diesem gebraucht, um so schöner fällt auch der Anstrich aus.

Alle diese Prüfungen sind unumgänglich nöthig, will man sich vor beträchtlichem Schaden bewahren. Durch bloßes Ansehen kann man den Werth dieser Farbe niemals beurtheilen. Es ist Thatsache, daß zwei Sorten Ultramarin, die gleiches Ansehen besitzen, allein in der Farbenkraft Unterschiede von 100 oder 200 pCt. ergeben, ganz abgesehen von den übrigen Eigenschaften.

Bei Gelegenheit der deutschen Indusrierausstellung zu München (1854) erhielten folgende Ultramarinfabrikanten die Ehrenmünze: Fries in Heidelberg, Kascher und Planet in Kaiserslautern, Gademann in Schweinfurt, Büchner in Pfungstadt (Großherzogthum Hessen), Ringelberger et Comp. in Smichov (Oesterreich), Curtius in Duisburg und Breuninger und Sohn in Kirchheim (Württemberg). — Auf der Pariser Ausstellung stellte sich heraus, daß Deutschland, das mehrere Jahre zur Deckung seines Bedarfes an Ultramarin auf Frankreich angewiesen war, seit 1834, wo die erste Ultramarinfabrik in Vermelskirchen gegründet wurde, Frankreich überflügelt hat. Die meisten neueren Fabriken Frankreichs arbeiten sogar nach der deutschen Methode. Man macht indeß den deutschen Fabriken den Vorwurf, daß sie dem Tüncher und Maler, dem Papierfabrikanten, dem Kattun-, Woll- und Tapetendrucker, dem Lithographen, dem Siegellackfabrikanten u. s. w. die Wahl erschweren durch eine unnöthige Vermehrung der Farbenabstufungen. Man findet bei uns 15 bis 20 Sorten, während man sich in Frankreich auf 6 bis 8 beschränkt. Und damit reicht man auch vollkommen aus. W. B.

Undurchdringlichkeit nennt man gewöhnlich die Eigenschaft der Materie, vermöge deren zwei oder mehrere Körper nicht zugleich an demselben Orte sich befinden können. Die kleinsten Wassertheilchen eines Körpers suchen kraft der Gleichgewichtsverhältnisse, welche sie unter einander eingehen, ihre räumlichen Stellungsverhältnisse aufrecht zu erhalten, so daß nun, wenn ein Körper in den Raum des anderen einzudringen strebt, wohl eine Verschiebung dieser Theilchen aus ihren Gleichgewichtslagen, aber kein eigentliches Durchdringen beider Körper stattfinden kann. Ist der Körper, in dessen Raum ein anderer einzudringen strebt, frei beweglich, so werden seinen Wassertheilchen, während des Conflicts beider Körper, Geschwindigkeiten mitgetheilt, vermöge deren er als Ganzes den Raum verläßt, welchen er bisher im Zustande der Ruhe einnahm. Inzwischen darf man doch nicht schließen, daß auch die lezten Elemente der Materie unfähig seien, sich gegenseitig zu durchdringen. Vielmehr können aus einer solchen Durchdringung zwischen diesen Elementen Kraftverhältnisse resultiren, welche die Undurchdringlichkeit größerer Massen zur nothwendigen Folge haben. Vergl. den Artikel *Materie*.

Uran, ein in der Natur selten vorkommendes Metall. Chemisches Zeichen: U. Äquivalent: 742,875 ($O = 100$) oder 59,53 ($H = 1$). Gebiegen wird das Uran nicht gefunden, sondern stets oxydirt als Uranoxyd ($U^2 O^3, HO$) und Pechblende ($U^2 O^3, UO$) oder an Säuren gebunden entweder für sich als Uranbläue (kohlen-saures Uranoxyd) und basisch schwefelsaures Uranoxyd ($5 W^2 O^3 + 8O^2 + 15 HO$) oder in Verbindung mit anderen Metallsalzen; so z. B. mit phosphorsaurem Kalk als Uranit [$(PO^3, 3 CaO) + 2 (PO^3, 3 U^2 O^3) + 24 HO$], mit phosphorsaurem Kupferoxyd als Uranglimmer (Kupferuranit, Ghaßolith) ($PO^3, 3 CuO + 2 (PO^3, 3 U^2 O^3) + 24 HO$), mit schwefelsaurem Kupferoxyd Uranvitriol. Die Pechblende hielt man früher theils für ein Zinkerg, theils für ein Eisenerz; theils glaubte man, daß darin Wolfram enthalten sei, bis Klaproth 1789 darin ein neues Metall entdeckte, das er nach dem 1781 von Herschel entdeckten Planeten Uranus benannte. Später fand Klaproth denselben Bestandtheil auch im Uranglimmer und Uranoxyd; aber er sowohl, wie die späteren Chemiker, selbst Berzelius, hielten das Uranorydul für metallisches Uran. Letzteres wurde erst 1842 von Peligot entdeckt.

Bei seinen ersten Versuchen reducirte Peligot das Uranchlorür durch Kalium. Er erhielt das Uran als schwarzes Pulver und in Form von Blättchen. Da hierbei ein Platintiegel benutzt wurde, so war das Uran stets Platinhaltig. Erst 1856 gelang es Peligot das Uran in zusammenhängenden Massen darzustellen *). Das Verfahren ist folgendes: in einen Porzellantiegel bringt man Natrium, überdeckt dieses mit trockenem Chlorkalium und bringt darauf eine Menge von grünem Uranchlorür und Chlorkalium. Der Tiegel wird mit dem Deckel verschlossen und in einen mit Kohle ausgefütterten Thontiegel eingesetzt, der letztere wird mit Kohlenstaub ganz vollgefüllt und dann mit einem Deckel verschlossen. Dann wird der Tiegel allmählig erhitzt bis zum Beginn der Reaction, was an dem Geräusch zu merken ist; darauf aber 15 bis 20 Minuten lang der Rothglühhitze ausgesetzt. Man kann das grüne Uranchlorür auch durch Aluminium reduciren.

*) Compt. rend. T. XLII. p. 73.

Daß auf diese Weise erhaltene Uran ist einigermaßen hämmerbar, obgleich hart, und wird vom Stahl leicht geritzt. Die Farbe ist der des Nickels oder Eisens ähnlich; das Uran läuft aber an der Luft gelblich an. Erhitzt man es bis zum Rothglühen, so verbrennt es plötzlich und bedeckt sich mit schwarzem voluminösen Dryd. Wird das Erhitzen nicht zu lange fortgesetzt, so findet man innen noch einen unverbrannten Kern. Daß spec. Gew. ist = 18,4. Das Uran ist also nach dem Platin und dem Golde das schwerste Metall.

Man kennt zwei Verbindungen des Urans mit Sauerstoff: das Drydul (UO) und das Dryd ($\text{U}^2 \text{O}^3$). Es existiren zwar noch andere Dryde, die man aber als Verbindungen der beiden vorstehenden ansieht. Das Drydul erhält man als braunes Pulver, wenn man das oxalsaure Uranoryd bis zum Rothglühen erhitzt und Wasserstoffgas darüber leitet. Sobald es mit der Luft in Berührung kommt, verwandelt es sich unter schwachem Erglühen in schwarzes Dryd-Drydul ($2 \text{UO} \cdot \text{U}^2 \text{O}^3$). Man kann es daher nur in einer Atmosphäre von Wasserstoffgas aufbewahren. Ein beständigeres Drydul in kleinen schwarzen Octaedern, deren Farbe sich beim Pulvern in dunkelroth verändert, stellt man dar durch Zersetzen des Doppelsalzes von Uranchlorür mit Chlorkalium durch Wasserstoffgas. Versetzt man die Lösung des grünen Uranchlorürs mit Ammoniak, so erhält man einen dunkelrothen flockigen Niederschlag von Uranorydhydrat. Dasselbe ist in Säuren leicht auflöslich, während das geglühte Drydul darin unlöslich ist, ausgenommen in concentrirter Schwefelsäure und in oxydirenden Säuren, durch die es in Dryd verwandelt wird. Erhitzt man das Uranorydul beim Zutritt der Luft bis zur dunkeln Rothgluth, so nimmt es Sauerstoff auf und verändert die Farbe in dunkelolivengrün. Formel: $\text{UO} \cdot \text{U}^2 \text{O}^3$. Steigert man die Hitze, so bildet sich das schwarze Dryd-Drydul ($2 \text{UO} \cdot \text{W}^2 \text{O}^3$), das sich in Säuren auflöst und ein Gemenge von Dryd und Drydulsalz giebt.

Die Salze des Uranoryduls, von denen man jedoch nur wenige kennt, sind grün und wenig beständig, da sie sich leicht in die gelben Drydsalze umwandeln. Man bereitet sie aus dem Uranchlorür. Das schwefelsaure Uranorydul besitzt die Formel $\text{UO} \cdot \text{SO}^3 + 4 \text{HO}$; das oxalsaure Uranorydul hat 3HO .

Obgleich das Uranoryd mit den Säuren eine große Reihe von Salzen bildet, so verhält es sich dennoch gegen starke Basen gleichsam als Säure. Daher ist der gelbe Niederschlag, der durch Kali, Natron und Ammoniak in den Lösungen der Uranorydsalze entsteht, nicht Uranorydhydrat, sondern eine Verbindung desselben mit den Basen, die zur Fällung gedient haben. Auch noch mit anderen Basen bildet das Uranoryd Salze, die unlöslich sind. Durch Erhitzen des salpetersauren Uranorydes kann man das Uranoryd gleichfalls nicht darstellen. Erhitzt man nur gelinde, so geht nicht alle Salpetersäure fort; erhitzt man stärker, so geht ein Theil des Sauerstoffs aus dem Uranoryd fort und zwar in demselben Augenblick, in welchem die letzten Spuren der Salpetersäure entweichen.

Nach Ebelmen erhält man ein gelbes Uranorydhydrat ($\text{W}^2 \text{O}^3 + 2 \text{HO}$) auf folgende Weise. Setzt man die Auflösung von oxalsaurem Uranoryd dem Sonnenlicht aus, so entwickelt sich ein Gemenge von Kohlensäure und Kohlenoryd und es setzt sich ein flockiger Niederschlag ab, der auf einem Filter gesammelt sehr schnell Sauerstoff aus der Luft absorbiert und seine Farbe in gelb verändert. Nach Malaguti erhält man ein anderes Hydrat ($\text{U}^2 \text{O}^3 + \text{HO}$) gleichfalls von gelber Farbe, wenn man das salpetersaure Uranoryd mit Alkohol behandelt und die

Flüssigkeit zur Trockne eindampft. Behandelt man dann die Masse mit Wasser, so bleibt das Uranorydhydrat ungelöst zurück. Es röthet feuchtes Lackmuspapier und löst sich mit einer schönen gelben Farbe in Säuren auf. Bei einer Temperatur von ungefähr 300° C. verliert das Hydrat das Wasser; das Uranoryd besitzt eine ziegelrothe Farbe. Erhitzt man das Oxyd bis zum Glühen, so geht Sauerstoff fort und das Oxyd verwandelt sich in das grüne Oxydorydul. Der durch die feuerfesten Alkalien erhaltene gelbe Niederschlag wird durch Glühen nicht zu Oxydorydul reducirt, sondern nimmt eine oranienrothe Farbe an.

Das Uranoryd findet Verwendung in der Techn. Das Uranorydul wird in der Porzellanmalerei zur Erzeugung einer schönen schwarzen Farbe benutzt. Man trägt das Oxyd auf das Geschirr auf und reducirt dieses in der Glühbirne zu Oxydul. Ferner färbt das Uranoryd das Glas schön grünlichgelb. Hierzu benutzt man den gelben Niederschlag, der durch Kali oder Natron in Uranorydsalzlösungen entsteht. Das Uranoryd-Kali giebt gleichzeitig eine schöne Farbe für die Delmalerei. Nach Gieseke *) wird ein sehr reines gelbes Uranoryd-Kali oder Natron für technische Zwecke sehr leicht auf folgende Weise dargestellt. Man rührt gewahlene Wechsellöse mit der Hälfte Schwefelsäure und etwas Wasser in einem Bleigesäß an, fügt Salpetersäure bis zur vollständigen Oxydation hinzu und bringt das Ganze in einer eisernen Schale zum Trocknen. Zieht man die Masse mit Wasser aus, so bleibt Kieselsäure, basisch-schwefelsaures Eisenoryd u. zurück. Die klare Flüssigkeit gießt man unter Umrühren in eine Sodaulösung, die so stark ist, daß sie nicht ganz neutralisirt wird. Das entstandene zweifach kohlen-saure Natron enthält das Uranoryd in Auflösung. Ein Aequivalent schwefel-saures Uranoryd fordert zwei Aequivalente kohlen-saures Natron zur vollständigen Auflösung. Kocht man diese, so scheiden sich die kohlen-sauren Erden und Metall-oryde aus, die durch Filtriren entfernt werden. Sollte sich Uranoryd mit aus-scheiden, so wird dies durch einen Zusatz von kohlen-saurem Natron wieder auf-gelöst. Schließlich gewinnt man das Uranoryd, indem man der kochenden alkalischen Lösung verdünnte Schwefelsäure oder Salzsäure zusetzt bis zur schwach sauren Reaction, wo sich dann das Uranoryd-Natron vollständig als gelber schwerer Niederschlag ausscheidet. Wendet man statt Soda Potasche an, so erhält man eben so Uranoryd-Kali.

Seit einigen Jahren wird die Fabrication des Urangelb (Uranoryd-Natron) zu Joachimsthal in Böhmen, dem bedeutendsten Fundort der Uranerze, sehr im Großen getrieben. Die Erze enthalten durchschnittlich 45 Proc. Uranoryd-Oxydul, sind aber sehr unrein, indem sie außerdem Arsenik, Antimon, Blei, Bismuth, Eisen, Mangan, Zink, Vanadin, Molybdän, Nickel, Kobalt und Schwefel in wechselnden Mengen enthalten. Das zuerst dargestellte Urangelb enthielt in der Regel 5,6 bis 7,69 Proc. Arsenik, die wegen des hohen Preises des Urangelb's unbedingt fortgeschafft werden mußten. Patera entfernte nicht allein das Arsen auf eine einfache und sichere Weise aus dem vorhandenen Producte, sondern er gab auch ein Mittel an, wodurch man von vorne herein den Arsengehalt ganz vermeidet **). Zuerst wird das Uranerz todt geröstet, um den in demselben enthal-

*) Archiv d. Pharm. [2] Bd. LXIX. S. 150.

**) Sichtungsb. d. Wiener Akad. Math. naturw. Kl. Bd. XI. S. 842; Bd. XX. S. 37. Chem. Centralbl. 1856. S. 843.

tenen Schwefel, das Arsen und Molybdän möglichst zu entfernen und darauf mit 15 Proc. Soda und 2 Proc. Salpeter eine Stunde lang geglüht. Hierbei bilden sich saures uransaures Natron, arsen-, vanadin- und molybdän- und kieselsaures Natron. Laugt man nun die geröstete Masse mit heißem Wasser aus, so bleibt das Uransalz ungelöst zurück, während die übrigen Salze entfernt werden.

Das unreine Urangelb wird in verdünnter Schwefelsäure aufgelöst und die Auflösung mit einer Sodalösung versetzt, durch die das Uran zwar erst mitgefällt, aber bei einem Ueberschuß von Soda wieder aufgelöst wird und zwar frei von allen Beimengungen. Der hierbei entstehende Niederschlag wird nochmals mit Soda ausgekocht, um demselben das darin enthaltene Uranoryd vollständig zu entziehen. Die alkalischen Lösungen werden mit Schwefelsäure versetzt, so lange noch ein Aufbrausen stattfindet. Es scheidet sich hierbei wasserhaltiges zweifach uransaures Natron ($\text{Na}_2\text{O}, 2 \text{U}^2 \text{O}_3 + 6 \text{H}_2\text{O}$) in vorzüglicher Reinheit ab. Jährlich werden hier 30 bis 50 Ctr. Uranerze verarbeitet und es ist wohl das erste Mal, daß das Urangelb, dieser so seltene Stoff, in so großer Menge wirklich fabrikmäßig dargestellt wird.

Das Uranoryd bildet mit den Säuren eine große Reihe von Salzen, deren Lösungen eine schöne gelbe Farbe besitzen. Wie schon gesagt, bringen die Alkalien darin gelbe Niederschläge (uransaurer Salze) hervor. Die kohlen sauren Alkalien und das kohlen saure Ammoniak schlagen kohlen saures Uranoryd-Kali, Natron oder Ammoniak nieder, die in einem Ueberschuß der Fällungsmittel löslich sind. Aus den beiden ersteren ist der Alkaligehalt nur durch öfteres Auflösen in Salzsäure und Fällen durch Ammoniak zu entfernen. Da der Niederschlag sehr voluminös ist, so thut man besser denselben vor dem Auswaschen zu trocknen. Schwefelwasserstoff bewirkt in den Lösungen der Uranorydsalze keinen Niederschlag, mit Schwefelammonium aber entsteht ein schwarzbrauner Niederschlag und mit Kaliumeisencyanür ein rothbrauner. Die Auflösungen vieler Uranorydsalze werden durch Alkohol, besonders im Sonnenschein zu Drydul reducirt.

Als Ausgangspunkt bei der Darstellung der Uranorydsalze dient in der Regel die böhmische Bockblende. Das Mineral wird fein gepulvert und dann geschlämmt, um die leichteren erdigen Theile größtentheils zu entfernen. Dann löst man das Erz in Salpetersäure auf, dampft zur Trockne ein und zieht den Rückstand mit Wasser aus. Dadurch scheidet man schwefelsaures Bleioryd, Eisenoryd und Arseniksäure ab. Die grünliche gelbe Flüssigkeit setzt beim Eindampfen eine reichliche Krystallisation von salpetersaurem Uranoryd ($\text{U}^2 \text{O}_3, \text{NO}_3 + 6 \text{H}_2\text{O}$) ab. Die Mutterlauge enthält noch eine beträchtliche Menge dieses Salzes, das aber nicht in Krystallen anschießt wegen der gleichzeitig anwesenden fremden Salze. Sie wird daher mit Wasser verdünnt und mit Schwefelwasserstoff übersättigt, wodurch Kupfer, Blei und Arsenik entfernt werden. Die Flüssigkeit wird wiederum zur Trockne abgedampft und der Rückstand mit Wasser ausgezogen, wobei abermals Eisenoryd zurückbleibt. Beim Eindampfen erhält man eine neue Krystallisation, die wie die frühere durch abermaliges Auflösen und Krystallisiren gereinigt wird. Das letzte Reinigungsmittel ist Aether, der das Salz in bedeutenden Mengen auflöst und beim Verdunsten in Krystallen absetzt, die nochmals aus Wasser umkrystallisirt werden. Das salpetersaure Uranoryd bildet oft sehr große Krystalle, die leicht in ihrem Krystallwasser schmelzen. Dies Salz dient in der Regel zur Bereitung der übrigen Uranorydsalze. Versetzt man es durch Schwefelsäure, so

erhält man das schwefelsaure Uranoxyd, das mehrere sehr schön krystallisirende Doppelsalze bildet, so z. B. das schwefelsaure Uranoxyd-Kali ($U^2O^3, SO^3 + KO, SO^3 + 2HO$). Oxalsäure bringt in der Lösung des salpetersauren Uranoxyds einen Niederschlag hervor: oxalsaures Uranoxyd ($U^2O^3, C^2O^3 + 3HO$).

Seitdem durch Vatera's Bemühungen rohes Uranoxyd in hinreichender Menge in den Handel kommt, wird gewiß Jeder dasselbe zur Vereitung anderer Uranverbindungen benutzen und nicht wie bisher die Pechblende. Am geeignetsten kann man das kohlensaure Uranoxydammoniak als Grundlage bei der Darstellung anderer Salze verwenden. Uranoxyd, das aus der Pechblende im Großen dargestellt worden ist, enthält in der Regel Eisen. Als Trennungsmittel dient hier kohlensaures Ammoniak, welches das Uranoxyd auflöst, das Eisen aber ungelöst zurückläßt.

Das eßigsaure Uranoxyd hat neuerdings eine besondere Wichtigkeit erlangt, da nach Knop's Erfahrungen (i. d. Art. Phosphor, Bd. V. S. 227) dasselbe ein gutes Mittel abgibt, die quantitative Bestimmung der Phosphorsäure in den schwierigen Fällen sehr zu vereinfachen. Nach späteren Mittheilungen von Arendt und Knop *) soll durch diese neue Methode die alte gute der Bestimmung der Phosphorsäure durch phosphorsaure Ammoniakalkerde keinesweges verdrängt werden; beide Methoden ergänzen sich so zu sagen, denn durch das eben angeführte Doppelsalz soll die Phosphorsäure aus ammoniakalischen, durch Uranoxyd aus sauren Lösungen gefällt werden. Bei Gegenwart der Basen von der Formel M^2O^3 ist das Uranoxyd aber nur dann anwendbar zur Bestimmung der Phosphorsäure, wenn sich die Metalloxyde M^2O^3 durch Uranchlorür auf die niedere Oxydationsstufe MO zurückführen lassen, wie dies z. B. beim Eisen der Fall ist. Arendt und Knop haben bereits eine Methode der Analyse der Pflanzenaschen angegeben **), bei welcher von dem Uranoxyd bei der Bestimmung der Phosphorsäure Gebrauch gemacht wird. — Nach neueren Untersuchungen von Knop hat das eßigsaure Uranoxyd eine besondere Wichtigkeit als qualitatives Reagens auf Phosphorsäure erlangt ***), da sich herausgestellt hat, daß molybdänsaures Ammoniak in einer Lösung, die Kieselsäure enthält, dieselbe Reaction hervorbringt, wie mit Phosphorsäure. Daher werden sich viele der neueren Angaben über das Vorkommen von Phosphorsäure in Mineralien bei näherer Prüfung als irrig erweisen, da man wohl selten vor der Prüfung auf Phosphorsäure die Kieselsäure vollständig abgeschieden hatte. Das eßigsaure Uranoxyd wird dagegen nicht durch freie Kieselsäure gefällt.

Werfen wir einen Blick auf die Formeln der Uranoxydsalze, so finden wir sofort, daß sich letztere in ihrer Constitution auffallend von der der übrigen Metalloxydsalze von der Formel M^2O^3 unterscheiden. Bei allen neutralen Salzen ein und derselben Säure ist das Verhältniß des Sauerstoffs in der Base zu dem in der Säure ein constantes; bei der Schwefelsäure z. B. ist das Verhältniß 3:1 und bei der Salpetersäure 5:1. Die Formel für die neutralen schwefelsauren Salze ist für die Oxyde $RO:RO, SO^3$ und für die Oxyde $R^2O^3:R^2O^3 + 3SO^3$; eben so ist es bei den salpetersauren Salzen. Während sich also bei den Oxyd-

*) Chem. Centralbl. 1857. S. 177.

**) Chem. Centralbl. 1857. S. 199.

***) Chem. Centralbl. 1857. S. 601.

salzen RO ein Äquivalent der Base mit einem Äq. der Säure verbindet, tritt in den Oxydsalzen R^2O^3 ein Äq. der Base mit 3 Äq. der Säure zusammen, während die Uranoxydsalze, selbst wenn sie aus einer stark sauren Auflösung krystallisiren, nie mehr als ein Äq. Säure auf ein Äq. der Base enthalten. Nach der gewöhnlichen Annahme müßte man die Uranoxydsalze als dreibasische Salze ansehen und doch krystallisiren sie aus stark sauren Auflösungen. Um diesen Widerspruch aufzuheben, betrachtet Peligot das Uranoxyd (U^2O^3) als eine Verbindung, die aus 1 Äq. Sauerstoff und einem zusammengesetzten Radikal (U^2O^2), das er Uranyl nennt, besteht. Nach dieser Betrachtungsweise wäre das Uranoxyd Uranyloxydul und damit würde die auffallende Verschiedenheit in den Formeln der Uranoxydsalze verschwinden. Das schwefelsaure Salz (U^2O^2 O. SO_3) würde nun genau mit dem schwefelsauren Eisenoxydul FeO . SO_3 oder den übrigen Salzen der Metalloxyde RO correspondiren. Eine Beobachtung von Gmelin scheint die Ansicht Peligot's zu unterstützen. Bringt man Uranoxydul mit salpetersaurem Silberoxyd zusammen, so wird Silber metallisch ausgeschieden und an die Stelle desselben treten 2 Äq. Uranoxydul, die sich hier in der That als ein einfacher Körper verhalten; da durchaus hierbei keine Gasentwicklung auftritt, so verbinden sich die 2 Äq. Uranoxydul mit dem Sauerstoff des Silberoxydes.

Die Chlorverbindung (UCl), welche dem Uranoxydul entspricht, erhält man in sehr glänzenden, kleinen Octaedern von grüner, fast schwarzer Farbe, wenn man eine Mischung von Uranoxydul und Kohle bis zum Glühen erhitzt und trocknes Chlorgas darüber leitet. Die Krystalle zerfließen an der Luft. Diese Darstellungsmethode ist jedoch sehr umständlich; da durch Knop das Uranchlorür in der Analyse eine Verunreinigung gefunden hat, so war eine einfachere Methode sehr erwünscht. Diese hat Knop (Chem. Centralbl. 1857 S. 164) angegeben. Man löst $\frac{1}{4}$ Pfd. kohlensaures Uranoxydammoniak in doppelt so viel concentrirter Salzsäure, als zur Lösung an und für sich erforderlich ist. Man fügt 4 bis 6 Tropfen einer starken Platinchloridlösung hinzu und einen Ueberschuß von feinen Kupferdrehspänen. Man erhitzt dann und läßt kaum eine Viertelstunde lang stehen; die Flüssigkeit nimmt sehr schnell eine sattgrüne Farbe an und sehr bald ist das Chlorid in Chlorür verwandelt. Dann verdünnt man die grüne Lösung und läßt sie vollständig erkalten. Das Kupferchlorür scheidet sich fast vollständig ab, die letzten Spuren werden durch Schwefelwasserstoff fortgeschafft. Dann wird die Lösung eingedunstet, wobei jedoch der Schwefelwasserstoff sehr schwer entweicht. Die Ausscheidung von Uranoxydul und Schwefeluran, die sich in der Regel wieder auflösen, wird durch Salmiak verhindert. Allerdings enthält diese Uranchlorürlösung Salmiak, der zur Darstellung der Salze nicht weiter hinderlich ist. Sonst kann man durch Ammoniak das Uranoxydul auch fällen. Gießt man Uranchlorürlösung tropfenweise in siedendes Wasser, so fällt schwarzes Uranoxydul nieder; das Uranchlorür wird so vollständig zersetzt, daß dieses Verhalten vielleicht zur Trennung des Urans von manchen anderen Metallen benutzt werden kann. Die Uranchlorürlösung ist ein vortreffliches Reductionsmittel. Sie hält sich an der Luft sehr gut; ist aber Eisen zugegen, so oxydirt sich dieses und wird vom Uranchlorür wieder reducirt, bis beide in Chloride umgewandelt sind.

Erhitzt man das Uranchlorür und leitet dann Wasserstoffgas darüber, so entweicht ein Theil des Chlors. Man erhält eine dunkelbraune, wenig flüchtige Verbindung (U^4Cl^3), die sich leicht in Wasser löst. Die Lösung nimmt aber sehr

bald wieder eine grüne Farbe an, wobei sich Wasserstoff entwickelt. Erhitzt man Uranorydul im Chlorstrom, so bildet sich eine sehr leicht schmelzbare, aber wenig flüchtige gelbe Verbindung (U^2O^2Cl), die man als Uranpchlorür ($2UO$) Cl ansehen kann. Erhitzt man diese mit Kalium, so geht das Chlor fort. Sie bildet mit Chlorkalium und Chlorammonium krystallisirbare Doppelverbindungen: ($2UO$) Cl + K Cl + 2HO und ($2UO$) Cl + NH^4 Cl + 2HO.

Mit Hilfe des Löthrohrs kann man das Uran sehr leicht erkennen. Die Phosphorsalzperle wird durch Uranoryd in der äußeren Flamme gelb gefärbt und beim Erkalten gelbgrün; in der Reductionsflamme wird das Glas grün. Die Uranorydsalze sind auf nassem Wege sehr leicht kenntlich an dem gelben Niederschlage, der durch reine und kohlensaure Alkalien entsteht und in einem Ueberschuß der letzteren auflöslich ist. Uranorydul und Uranorydorydul lassen sich sehr leicht in Oxyd verwandeln und werden dann auf gleiche Weise erkannt. — Nach *Stokes* *) entdeckt man sehr geringe Mengen von Uran, die auf keinem anderen Wege aufzufinden sind, durch eigenthümliche Linien im prismatischen Spectrum, die eben nur vorhanden sind, wenn das Licht eben äußerst geringen Mengen von Uran auf seinem Wege begegnet ist.

Soll Uran quantitativ bestimmt werden, so fällt man die Oxydlösung durch Ammoniak, glüht den Niederschlag lange Zeit und befestigt an der Luft oder leitet auch Wasserstoffgas darüber; im ersten Falle resultirt Uranorydorydul ($2UO \cdot U^2O^3$), im letzteren Uranorydul (UO). Als Trennungsmittel dienen: bei den Alkalien Ammoniak, bei Baryt Schwefelsäure, bei Kalk und Strontian gleichfalls, doch dampft man das Ganze ein und zieht dann das schwefelsaure Uranoryd durch Alkohol aus; bei Eisen, Chrom und Thonerde kohlensaures Ammoniak, bei Magnesia, Mangan, Zink, Kobalt und Nickel doppeltkohlensaures Kali und bei den übrigen Metallen Schwefelwasserstoffgas. W. B.

Uranus, s. Planeten.

Vanadin (Vanadium) ein in der Natur sehr selten vorkommendes Metall. Chemisches Zeichen: V. Aequivalent: 856,892 (O = 100) oder 68,66 (H = 1).

Hauptsächlich findet sich das Vanadin in sehr kleinen Mengen in gewissen Eisenerzen; dann aber auch als selbstständiges Mineral, namentlich als vanadinsaures Bleioryd. Dahin gehören: der Dechenit ($PbO \cdot VO^3$), Aräoren (vanadinsaures Bleioryd mit Zinkoryd) in der Rheinpfalz; das Rothbleierz von Ximapan in Mexiko oder Vanadininit (vanadinsaures Bleioryd mit Chlorblei), und ein Vanadinbleierz in Nordamerika (vanadin- und molybdänsaures Bleioryd). Nach den Angaben von *Hammelberg* **) ist das Vanadinbleierz (Vanadininit), also das vanadinsaure Bleioryd, isomorph mit dem Mimetostit (arsnisaurem Bleioryd), dem Pyromorphit (phosphorsaurem Bleioryd) und Apatit (phosphorsaurem Kalk). Nicht allein die Messungen der Krystalle führten zu dieser Annahme, sondern auch die

*) L'Institut. 1852. p. 392.

**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVIII. S. 244.

Analyse bestätigte die Analogie in der Zusammensetzung aller dieser Mineralien. Diese Isomorphie gehört also, da die Vanadinsäure 3, die Phosphor- und Arsen-säure aber 5 At. Sauerstoff enthält, zu der allerdings nicht mehr kleinen Zahl von Beispielen, bei welchen die Uebereinstimmung der Form nicht mit vollkommen ähnlicher Constitution der betreffenden Verbindungen verknüpft ist. Die Vanadinsäure kommt ferner als solche (Vanadinoxide) in Form eines gelblichen erdigen Pulvers auf dem gebiegenes Kupfer am Lake superior, dann mit Kieselsäure in einer chocoladefarbigen Erde von Isle Nopale und mit Kupferoxyd verbunden, als Voborthit ($3 \text{ CuO} \cdot \text{VO}_3 + \text{HO}$) vor. Neuerdings hat Wöhler bei der Darstellung der Wolframsäure aus dem Gelbbleierz, das von Sobnia's Erben zu Bleiberg in Kärnten bezogen worden war, Vanadin entdeckt *). Es ist aber noch nicht entschieden, ob die Vanadinsäure ein bloß zufälliger Bestandtheil dieses Gelbbleierzes ist oder ob mit letzterem vanadinsaures Bleioxyd als selbstständiges Mineral zusammen vorkommt.

Die Veranlassung zur Entdeckung des Vanadin (1830) gab eine Wahrnehmung von Cefström, daß ein Eisen aus den Erzen von Taberg in Schweden, das allezeit als eines der werthsten und zähesten im Lande bekannt war, dennoch die Reaction auf Kaltbrüchigkeit gab, d. h. beim Aben mit Salzsäure ein schwarzes Pulver gab. Von diesem erhielt Cefström 0,2 Grm. und fand darin neben Kieselerde, Thonerde, Kalkerde, Eisen, Kupfer und Kobalt ein Metall, das einerseits dem Chrom, andererseits dem Uran glich und sich bei näherer Prüfung als ein eigentümliches erwies. Die vielen und schönen Farben, die das Metall in verschiedenen Lösungen annimmt, gaben Veranlassung dasselbe nach der Göttin der Schönheit in der alten skandinavischen Mythologie Vanadis (Beiname der Freija) zu benennen. Eigentlich war das Vanadin schon lange vor Cefström durch del Rio in dem Bleierz von Jimaipan in Mexiko entdeckt worden (1801), doch hielt man später jenes Erz allgemein für chromsaures Bleioxyd, bis 1830 Wöhler endlich die ersten Angaben del Rio's bestätigte. Am genauesten ist das Vanadin von Berzelius untersucht worden.

Das Vorkommen des Vanadin in den schwedischen Eisenerzen steht nicht vereinzelt da. Man hat es später auch in den Bohnerzen von Tuttlingen und Wasseralfingen in Württemberg und in dem von Haverlah im Harze, so wie im Sphärosiderit des Venusberges bei Vonn aufgefunden. Ferner sind sämtliche Producte der Vermischen Hütten vanadinhaltig. In einem Kupfersandsteine von dort, in welchem mit Hülfe eines 60mal vergrößernden Mikroskops vanadinsaures Kupferoxyd erkannt wurde, fand Schubert 0,53 Proc. Vanadinsäure, in einem anderen dagegen keine Spur. Daß bei der Schmelzung der Vermischen Erze erhaltene kupferne Rohreisen, welches Schubert als so hart beschreibt, daß sowohl Instrumente aus Gußstahl als auch aus demselben Roheisen bei Versuchen, daraus einen Cylinder zu drehen, sogleich unbrauchbar wurden, enthielt 1,99 Vanadin und das gleichzeitig dabei gewonnene Schwarzkupfer, 1,21 Vanadin. Bei der Untersuchung zweier, verschieden zusammengesetzter Schlacken ergaben sich 1,57 und 1,30 Proc. Vanadinsäure, so wie auch in verschiedenen anderen Producten ein allerdings geringer Gehalt. Man kann wohl annehmen, daß das Vanadin eben so wie das Titan die Eisenerze allgemein begleitet.

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. CII. S. 383.

Mehr als das vanadinhaltige Eisen eignen sich die Schlacken zur Gewinnung des seltenen Metalles. Als die zweckmäßigste Methode giebt Seffröm folgende an *). Um die Schlacken gehörig fein zu pulverisiren, befeuchtet man das gröbliche Pulver in einer Porzellanschale mit Wasser und oxydirt dann die darin enthaltenen Eisenkörner mit Salpetersäure. Dann wird die Masse geglüht und nun läßt sie sich in sehr feines Pulver verwandeln. Dieses wird geschlämmt und dann 3 Th. davon mit 2 Th. Salpeter und 1 Th. zerfallnem kohlensauren Natron geglüht; die Masse wird wiederholt mit Wasser ausgekocht, die Lösung genau mit Salpetersäure neutralisirt und der Niederschlag entfernt. Aus dem Filtrat wird die Vanadinsäure durch essig- oder salpetersaures Bleioryd niedergeschlagen. Das vanadinsaure Bleioryd wird mit concentrirter Salzsäure übergossen, öfters umgerührt und nach mehreren Stunden mit Alkohol einer Temperatur, die beinahe den Siedepunkt erreicht, ausgesetzt. Die hierbei erhaltene blaue Vanadinchlorür-Lösung ist durch Bleioryd, Kieselerde, Zirkonerde und Phosphorsäure verunreinigt; sie wird zur Trockne abgedampft, die Masse in Wasser gelöst, durch Salpetersäure oxydirt, dann mit kohlensaurem Kali gesättigt, eingedampft und die Masse geschmolzen. Das vanadinsaure Kali wird in möglichst wenig Wasser gelöst und in die Lösung ein Stück Salmiak gelegt, wodurch sich vanadinsaures Ammoniak ausscheidet, das mit verdünnter Salmiaklösung ausgewaschen wird, um das phosphorsaure Ammoniak zu entfernen. Durch Lösung und Umkrystallisiren wird das Salz gereinigt und beim Erhitzen an der Luft bleibt Vanadinsäure zurück.

Am hartnäckigsten bleiben nach Berzelius **) beträchtliche Mengen von Kieselsäure bei der Vanadinsäure zurück. Um erstere vollkommen abzuscheiden, wird die Vanadinsäure in concentrirter Schwefelsäure gelöst, dann die Kieselsäure durch Fluorwasserstoffsäure ausgetrieben und wieder zur Trockne gebracht. Am besten reducirt man die Vanadinsäure mittelst Kalium; die Reaction ist sehr heftig. Beim Behandeln der Masse mit Wasser bleibt das Vanadin als schwarzes Pulver zurück. Es entzündet sich beim anfangenden Glühen und brennt, jedoch ohne große Lebhaftigkeit. Es ist ein Leiter der Electricität und mit Zink combinirt stark elektronegativ.

Leitet man die Dämpfe von Vanadinchlorid und trockenes Ammoniakgas gleichzeitig durch eine erhitzte Glasröhre, so legt sich metallisches Vanadin als ein dünner Metallspiegel an, der im reflectirten Lichte polirtem Stahle glich. Es gleicht sehr dem Molybdän, ist vollkommen unhämmerbar und zerfällt in Pulver, wenn man es vom Glase entfernen will. Es oxydirt sich weder an der Luft, noch im Wasser, aber beim Liegen büßt es den weißen Glanz allmählig ein und nimmt mit der Zeit einen röthlichen Schimmer an. Von Schwefelsäure, Chlor- und Fluorwasserstoffsäure wird das Vanadin unter feinen Umständen angegriffen: Salpetersäure und Königswasser geben damit eine schöne blaue Lösung. Kalihydrat wirkt auf das Metall nicht ein, eben so wenig wird es durch Zink aus seinen Auflösungen gefällt.

Von den Verbindungen des Vanadin mit Sauerstoff kennt man drei: das Suboxyd (VO), das Oxyd (VO^2) und die Vanadinsäure (VO^3). Zwischen den

*) Schweigger's Journ. Bd. LXII. S. 319.

**) Schweigger's Journ. Bd. LXII. S. 328.

beiden letzteren existiren noch verschiedene Oxydationsstufen, die aber als Verbindungen der beiden Oxyde in verschiedenen Verhältnissen anzusehen sind.

Das Vanadinsuboxyd (VO) erhält man durch Reduction der Vanadinsäure durch Wasserstoffgas in der Glühpipe; das Oxyd behält die krystallinische Structur der Säure, nimmt aber eine schwarze Farbe und einen halbmetalischen Glanz an. In zusammenhängenden Massen besitzt es eine für Oxyde ungewöhnliche Eigenschaft: es ist nämlich ein guter Leiter der Electricität und gegen Zink ein stärkerer negativer Elektromotor als Kupfer, Silber und Gold. Erhitzt entzündet es sich und brennt wie Zunder. Es ist unsmelzbar und oxydirt sich allmählig an der Luft, ohne sich aber äußerlich zu verändern. Es ist weder in Säuren, mit Ausnahme der Salpetersäure, noch in Alkalien löslich; bleibt es aber längere Zeit mit diesen in Berührung, so bildet sich Oxyd, das sich mit Säuren oder Alkalien verbindet.

Das Vanadinoryd (VO^2) kann man nicht einfach durch Erhitzen des vanadinsäuren Ammoniafs erhalten; hierbei entstehen drei verschiedene Oxyde. Auf trockenem Wege stellt man es dar durch Glühen eines Gemenges von 10 Th. Suboxyd mit 12 Th. Vanadinsäure. Es ist schwarz, erdig und in den Temperaturen, welchen das Glas widersteht, unsmelzbar. Als Hydrat erhält man das Vanadinoryd durch Fällen mit kohlensaurem Natron aus einer Vanadinorydsalzlösung. Es ist grauweiß und voluminös; beim Auswaschen muß man sorgfältig den Zutritt der Luft abhalten, sonst wird es augenblicklich braun und dann grün. Erhitzt man das Hydrat im luftleeren Raume, so geht das Wasser fort; das Oxyd hat dann ganz das Aussehen, wie das auf trockenem Wege dargestellte. Das Hydrat löst sich leichter in Säuren als das geglühte Oxyd; von den kohlensauren Alkalien wird das Vanadinoryd gleichfalls aufgelöst.

Das Vanadinoryd verbindet sich sowohl mit Säuren als auch mit Basen. Die Vanadinorydsalze *) sind im festen Zustande blau und geben in Wasser eine schön blaue Auflösung, selbst die basischen und wasserfreien Salze, die im festen Zustande braun sind. Setzt man die Auflösungen der Luft aus, so werden sie grün. Der Geschmack ist süßlichzusammenziehend, dem der Eisenorydulsalze ähnlich. Die Verbindungen des Vanadinoryds mit Basen, die sogenannten vanadinigsauren Salze, sind bis jetzt wenig studirt. Im Allgemeinen sind sie braun und schwarz; nur die mit alkalischen Basen sind in Wasser löslich. Die Lösungen sowohl wie auch die Salze im feuchten Zustande oxydiren sich sehr leicht.

Von der Bereitung der Vanadinsäure (VO^3) nach Sefström's Methode haben wir bereits oben gesprochen. Frisch hat die Vanadinsäure aus dem Vermischen kupfrigen Roheisen dargestellt **) und einen anderen Weg zur Entfernung der Kieselsäure eingeschlagen. Für Deutschland giebt das Bohnerz von Haverlah im Harz ein geeignetes Material für die Darstellung der Vanadinsäure ab. Der Centner dieses Eisenerzes kostet bei der Altenau-Lehrbacher-Eisenhütten-Administration zu Zellerfeld incl. Verpackung 1 Thlr. 10 Ngr. Die Darstellungsmethode der Vanadinsäure aus diesem Erze ist in den Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXVIII. S. 125 beschrieben. Eine neue sehr ergiebige Quelle dieser seltenen

*) Schweigger's Journ. Bd. LXII. S. 355.

**) Bulletin de St. Petersb. Class. phys. math. T. IX. p. 196.

Substanz hat Vatera eröffnet *). Die Uranerze von Joachimsthal in Böhmen enthalten nämlich Vanadin, das bei der Darstellung des Uranoxyd-Natron als Nebenproduct gewonnen wird. Beim Auslaugen der gerösteten Uranerze wird neben der Arsenfäure auch die Vanadinsäure entfernt; die erstere wird durch Magnesialösung und Ammonial entfernt und dann die Vanadinsäure als vanadinsaures Ammonial durch Einlegen eines Stückes Salmiak in die Lösung gefällt. v. Haue r fand diese Vanadinsäure nur durch etwas Kieseläure und Uranoxyd verunreinigt. Für die Fabrication im Großen zeigte sich diese Methode jedoch nicht anwendbar, da stets Vanadin in der Lauge gelöst bleibt. Am vortheilhaftesten bewährte sich die Fällung durch Gallustinctur; die vanadinhaltige Lösung wird mit Salzsäure sauer gemacht und nach dem Zusatz des Galläpfelaufgusses vorsichtig mit Soda neutralisirt. Das gerbstoffsaure Vanadinoryd bildet einen dunkelblauen voluminösen Niederschlag, der sich schnell absetzt und leicht abfiltrirt werden kann. Gleichzeitig fallen noch gerbstoffsaures Natron, einige Arsen-, Molybdän-, Uran- und Kieselverbindungen nieder. Der Niederschlag schwindet beim Trocknen sehr zusammen und wird schwarz; beim Glühen verbrennt die Gerbstoffsäure und etwas Arsen und Molybdän entweichen, so daß ein unreines vanadinsaures Natron, dem wohl auch vanadinsäures Salz beigemengt ist, zurückbleibt, das dann zur Darstellung reiner Vanadinverbindungen benutzt werden kann. Von diesem Rohproduct werden vom Centner Uranerz 10 Loth gewonnen und jährlich ungefähr 10 Pfund Vanadinsäure, bei der großen Seltenheit des Stoffes immerhin eine ansehnliche Menge.

Die Vanadinsäure besitzt eine ziegelrothe oder rostgelbe Farbe, die beim Zerreiben heller wird; sind auch nur geringe Mengen von Oxyd zugegen, so fällt die Farbe dunkler, mehr violett aus. Die Vanadinsäure schmilzt leicht und gesteht beim Erkalten zu einer krystallinischen Masse, die eben eine Zusammenhäufung in einander verwebter Krystalle ist. Hier und da finden sich Höhlungen mit schönen regelmäßigen Krystallen. Hält man reducirende Körper sorgfältig fern, so kann die Vanadinsäure stark und anhaltend geblüht werden, ohne daß eine Zersetzung stattfindet. Die Vanadinsäure ist nicht flüchtig, geschmacklos, röthet aber feuchtes Lackmuspapier; Wasser löst noch nicht $\frac{1}{1000}$ davon auf. Im reinen Alkohol ist sie unlöslich, aber nicht in wasserhaltigem. Auf nassem Wege wird sie sehr leicht zu Oxyd reducirt, besonders wenn sie mit anderen Säuren verbunden ist. Durch salpetrige, schweflige und phosphorige Säure, durch Oxal-, Weinsäure- und Citronensäure, so wie durch viele Metallsalze, Zucker, Alkohol wird die Vanadinsäure reducirt.

Sie hat mit der Molybdän- und Wolframsäure insofern große Aehnlichkeit, als sie wie diese sich gegen stärkere Säuren als Base und gegen die Basen als Säure verhält; sie bildet also zwei Klassen von Salzen. Die Verbindungen der Vanadinsäure mit anderen Säuren sind meistens roth oder citronengelb, mitunter aber auch farblos. Der Geschmack ist stark zusammenziehend, den Eisenorydsalzen ähnlich. Die Lösungen trüben sich beim Kochen und setzen braunrothe, käsige Salze ab; sie werden außerdem leicht reducirt.

Mit Basen verbindet sich die Vanadinsäure in verschiedenen Verhältnissen und zeigen dann verschiedene Färbungen. Die sauren Salze sind meistens orange-

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVIII. S. 118.

roth oder gelb, die neutralen gelb und wenn ein auch nur geringer Ueberschuß der Base vorhanden ist, farblos. Die Salze können geglüht werden, ohne daß Sauerstoff fortgeht; sie sind fast alle im Wasser auflöslich. Besonders die Verbindungen mit Alkalien sind in alkalischem Wasser unlöslich, vor allen das vanadinsaure Ammoniak in einer Auflösung von Chlorammonium. Die vanadinsauren Salze haben keinen eigenthümlichen, von der Säure herrührenden Geschmack. — Neuere Untersuchungen über die Salze der Vanadinsäure hat v. Hauer veröffentlicht *).

Aehnlich wie die Molybdän- und Wolframsäure bildet auch die Vanadinsäure mit dem Dryde Verbindungen in verschiedenen Verhältnissen, die im Wasser löslich und theils purpurfarben, theils grün, theils orangegelb gefärbt sind. Sie entstehen theils durch höhere Drydation des Dryds an der Luft, theils durch unmittelbare Verbindung beider Bestandtheile auf trockenem oder nassem Wege.

Die Chlorverbindungen des Vanadin entsprechen dem Dryde und der Säure. Das Vanadinchlorür ($V Cl^2$) ist nur im wasserhaltigen Zustande als Auflösung bekannt und je nach der Bereitungsweise entweder blau oder braun. Das Chlorid ($V Cl^3$) erhält man, wenn man ein Gemenge von Vanadinsuboxyd oder Vanadinsäure und Kohle erhitzt und Chlorgas darüber leitet. Das Chlorid bildet eine hellgelbe, flüchtige Flüssigkeit, die an der Luft rothgelbe Dämpfe ausstößt und in Wasser löslich ist. Die Lösung entwickelt Chlor und wird erst grün, dann blau. Mit Ammoniak bildet das Chlorid eine feste, weiße Verbindung. Brom, Jod und Fluor gehen zum Theil analoge Verbindungen mit dem Vanadin ein.

Die Verwandtschaft des Vanadin zum Schwefel ist nicht sehr groß, doch existiren zwei Schwefelungsstufen. Die niedrige ($V S^2$) erhält man, wenn man über Vanadinsuboxyd oder Dryd Schwefelwasserstoffgas leitet. Durch Schwefelwasserstoff werden die Vanadinoxydsalze nicht zerlegt, wohl aber durch Schwefelammonium; selbst frisch gefällt ist Schwefel-Vanadin nicht in Säure auflöslich, dagegen bildet es mit elektropositiven Schwefelmetallen Verbindungen, die sich mit prachtvoller Purpurfarbe auflösen. Versetzt man eine Lösung der Vanadinsäure mit Schwefelammonium, so tritt eine bierrothe Färbung ein; bei Zusatz von Säuren fällt brauner Vanadinschwefel ($V S^3$) nieder. — Mit Phosphor verbindet sich Vanadin nicht direct. Phosphorvanadin bildet sich aber, wenn man ein Gemenge von phosphorsaurem Vanadinoryd mit Zucker bis zum Weißglühen erhitzt. — Nach Berzelius geht das Vanadin mit anderen Metallen leicht Legirungen ein.

Das Vanadin hat in seinen Verbindungen große Aehnlichkeit mit den entsprechenden Verbindungen des Uran, Wolfram, Molybdän und ganz besonders des Chrom und doch sind wir in Besitz hinreichender Mittel, um alle diese Körper von einander zu unterscheiden und genau zu trennen, falls sie mit einander vorkommen sollten. Die Aehnlichkeit mit dem Uran besteht darin, daß letzteres ein grünes Dryd-Drydul und ein gelbes Dryd hat und daß die Reactionen vor dem Löthrohr denen des Vanadin gleichen. Das Verhalten gegen Ammoniak, kohlensaures Ammoniak und Kaliumeisencyanür unterscheidet aber das Uranoryd und die Vanadinsäure auf das deutlichste. Molybdän und Wolfram geben zwar in gewissen Verbindungen wie das Vanadin blaue Auflösungen, aber durch das Verhalten

*) Ber. d. Wien. Akad. Math. naturw. Kl. Bd. XXI. S. 333.

dieser Lösungen gegen Kali lassen sich Molybdän und Vanadin leicht unterscheiden und eben so Wolfram und Vanadin durch das Löthrohr. Die größte Aehnlichkeit herrscht zwischen den Verbindungen des Chrom und des Vanadin, doch fällt auch hier die Unterscheidung nicht sehr schwer. Die Verbindungen beider färben zwar Borax und Phosphorsalz vor dem Löthrohr auf dieselbe Weise grün, doch wird die grüne Farbe des Vanadin in der äußeren Flamme gelb, während die des Chrom mit Phosphorsalz sich nicht verändert. Die Chromsäure und Vanadinsäure, so wie die Salze beider zeigen sehr große Aehnlichkeit und doch wieder bedeutende Verschiedenheiten. Die Chromsäure ist in Wasser leicht auflöslich und die Lösung schmeckt daher stark sauer; sie verliert beim Glühen Sauerstoff und verwandelt sich in *Oxyd*, während die Vanadinsäure gerade entgegengesetzte Eigenschaften besitzt. Die Salze beider Säuren unterscheiden sich dadurch, daß die alkalischen der Vanadinsäure beim Erhitzen ihre Farbe verlieren, die Chromsauren dagegen nicht. Für die *Oxyde* beider Metalle ist das Verhalten gegen Chlor charakteristisch; Chromoxyd liefert ein sehr schwer flüchtiges krystallinisches pfirsichblüthrothes Chlorid und die *Oxyde* des Vanadin ein flüchtiges flüssiges Chlorid.

Wegen der Schwierigkeiten bei der quantitativen Bestimmung des Vanadin verweisen wir auf die Untersuchungen v. Sauer's *).

W. B.

Ventilator (v. d. lat. ventus, Wind) ist ein Apparat, um aus einem eingeschlossenen Raume verdorbene Luft auszuführen und frische Luft in denselben einzubringen. Die Ventilatoren sind theils Maschinen, welche förmlich zum Ausschöpfen der Luft eingerichtet sind, theils Vorrichtungen, um das Ausströmen erwärmter und darum zugleich sich ausdehnender Luft und dafür Einstömen frischer Luft zu erlauben und zu befördern. Zu den letztern gehört der sehr einfache *Radventilator*, den man gewöhnlich in Fenstern anbrachte. Er besteht aus einem etwa 2½ Zoll weiten kurzen Blechcylinder, welcher nach der Seite des Zimmers durch einen Deckel verschlossen werden kann. Mitten durch den Cylinder gehen zwei schmale Risten, welche in der Mitte mit Löchern, die als Zapfenlager dienen, versehen sind, und zwischen denen sich ein Rad, senkrecht auf die Axe des Cylinders leicht umdrehen kann. Dieses Rad, im Durchmesser etwas kleiner als der Cylinder, besteht aus windmühlflügelartigen Blechblättern, welche fächerartig rings um den Mittelpunkt des Rades herumgestellt sind, so daß zwischen je zwei Blättern ein Durchweg bleibt und die eine Kante jedes Blattes über einer Kante des ihm folgenden Blattes steht; sie sind mithin sämmtlich schief gestellt. Da sie sich im oberen Theile des Zimmers befinden, nach welchem die erwärmte Luft aufsteigt, so drängt sich diese zwischen den einzelnen Flügeln des Rades hindurch und bringt dadurch das Rad zur Umdrehung. — Von dem Bestreben des Einstömens kalter Luft in ein erwärmtes Zimmer und des Ausströmens der warmen Luft aus demselben kann man sich überzeugen, wenn man die Thüre öffnet, welche ein geheiztes Zimmer mit einem ungeheizten verbindet. Schon das Gefühl zeigt oben einen ausströmenden warmen, unten einen einströmenden kalten Luftzug an; noch deutlicher aber wird die Richtung des Luftzuges, wenn man ein brennendes Licht in die Thüröffnung hält. Unten am Boden wird die Lichtflamme in das erwärmte Zimmer hereingetrieben, oben wird sie aus demselben herausgetrieben (gleichsam

*) Bericht d. Wien. Akad. Math. naturw. Kl. Bd. XXI. S. 333.

als bliese man mit einem Löthrohr gegen die Flamme). In der Mitte bleibt es eine Stelle, wo die Flamme gerade in die Höhe brennt. Es liegt nach dieser Beobachtung sehr nah, einen Ventilator in der Art herzustellen, daß man sowohl von dem oberen Theil eines Zimmers einen Kanal führt, welcher die erwärmte und durch den Aufenthalt von Menschen u. verdorbene Luft abführt, als einen anderen Kanal in den unteren Theil des Zimmers leitet, welcher frische Luft einführt. Des letzteren kann man in vielen Fällen entbehren, weil kein Zimmer so fest verschlossen zu sein pflegt, daß nicht Luft von außen allmählig einzutreten vermöchte, wenn die Luft im Zimmer selbst nur einen Ausweg hat. Anstatt die frische Luft in den unteren Theil des Zimmers zu führen, welches einen unangenehmen Zug an die Füße verursachen würde, der Erkältungen veranlassen kann, schlägt Ca-vall o*) vor, aus einer Oeffnung in der Decke eine Röhre an der äußeren Mauer herabzuführen und sie in der Nähe des Erdbodens münden zu lassen. Durch diese Röhre steigt dann frische Luft in demselben Maße auf, als sich durch die andere nach oben gehende Röhre Luft entfernt, und die kalte Luft mische sich von oben allmählig mit der Zimmerluft, ohne eine merklliche Kälte zu bewirken.

Eine einfache Einrichtung hat de l'Isle de St. Martin**) angegeben. Es wird durch eine verticale Röhre vt (s. beistehende Figur) die Luft ausgeführt;



$a b c$ ist die Mündung dieser Röhre, $a b p$ ein Hut, $n m q$ ein oben verschlossener Hut; r ein Kasten, in welchem sich die untere Oeffnung der verticalen Röhre vt endigt, mit Oeffnungen s, x versehen, welche durch Schieber bald mehr, bald weniger geöffnet werden können. Die Größe dieser Einrichtung richtet sich blos nach der Oeffnung $a b c$. Hat man diese bestimmt, so erhält dadurch der untere Hut seine Form, daß man $h f = h l = \frac{1}{2} a b$ nimmt. Um die Größe des oberen Hutes zu bestimmen, wird auf dem verlängerten Durchmesser $a b$, $b m = \frac{1}{4} a b$, und $b n = a b$ auf $b m$ senkrecht genommen. Dieser obere

Hut wird durch vier Streben an den unteren befestigt. Befindet sich der Kasten r im Zimmer, und die Röhre vt geht mit den beiden Hüten in die freie Luft hinaus, so wird dadurch ein beständiges Ausströmen der Luft aus dem Zimmer durch die Röhre vt bewirkt. Es steigt nämlich die wärmere und leichtere Luft des Zimmers durch vt auf, schlägt gegen n an, und wird durch die Form der Hüte so abgeleitet, daß daraus ein Luftzug zwischen beiden Hüten entsteht. Durch diesen Luftzug wird nach der Erklärung des Erfinders der Druck der Atmosphäre auf die Oeffnung $a b c$ in etwas geschwächt, welches verursacht, daß das Ausströmen der elastischeren Luft des Zimmers ununterbrochen fortdauert. Man kann sich hiervon durch die Erfahrung überzeugen, wenn man die Schieber s, x verschließt, in die Stelle z ein offenes Rohr einsetzt, und an dessen Ende eine Lichtflamme hält. Denn wenn man alsdann durch Blasen einen Luftzug zwischen den beiden Hüten bewirkt, so wird die Flamme sogleich in die Oeffnung der Röhre hineingetrieben, welches ein deutlicher Beweis des Einstromens der Luft ist. Wenn zwei Röhren als Ventilatorvorrichtung angebracht sind, so wird derjenige, welcher

*) Abhandl. über die Natur und Eigenschaften der Luft. Leipzig 1783. S. 173.

Vergl. auch Tredgold, Principles of warming and ventilating buildings. Lond. 1824.

**) Journ. de phys. 1788 Sept. p. 88; Gotthard'sches Magazin Th. VI. St. 1. S. 81.

die verdorbene Luft ausführt, der Saugventilator genannt, der andere, welcher frische Luft einführt, der Druckventilator. Da der Fall sein kann, daß der Unterschied der specif. Gewichte der inneren und äußeren Luft, durch den die Strömung veranlaßt wird, zu gering sei, um die Ventilatoren in gehörige Thätigkeit zu setzen, so empfahl Barrot *) eine Einrichtung, die Wirksamkeit beider Ventilatoren zu erhöhen. Der Druckventilator hat mit dem angeführten Ventilatoren von de l'Isle de St. Martin viel Aehnlichkeit.

Es ist nämlich et (S. 468) eine an beiden Enden offene Röhre. Auf ihrer obern Mündung sitzt ein abgefürzter Ke gel $ablp$, welcher an seiner obern Fläche offen ist, und damit auf die Mündung der Röhre paßt. Gerade über diesem ist ein zweiter abgefürzter Ke gel nmq , dem ersteren gleich und ähnlich, so daß die untere Grundfläche des oberen mit der oberen des unteren in einerlei horizontalen Ebene liegt. Die untere Mündung der Röhre ist an einem überall genau verichlossenen Behältnisse rs , mit welchem sie verbunden ist, befestigt. Aus diesem Behältniß gehen Röhren in alle Zimmer, in welchen die Luft gereinigt werden soll. Das ganze Behältniß wird im obern Theile des Hauses angebracht, und die Röhre et muß so weit sein, daß ihr Durchschnitt gerade doppelt so viele Quadratzolle enthält, als Menschen sind, für welche die Maschine die Luft reinigen soll. In anderer Rücksicht muß ihre Mündung so groß sein, als die Summe der Mündungen aller in die Zimmer gehenden Röhren. Ihre Länge ist so groß, daß die beiden Ke gel über das Dach hervortragen, und so frei stehen, daß jeder benachbarte Gegenstand wenigstens 20 Fuß davon entfernt sei. Bläst nun der Wind zwischen m l hinein, so streift er auf der unteren Ke gelfläche über der Mündung der Röhre, und sanat die Luft aus derselben heraus, mithin auch aus den Luströhren und Zimmern. Barrot stellt nun auf Erfahrungen gegründete Untersuchungen über die Wirkungen des Windes an, wenn er in vorgeschriebenen Wogen auf eine schiefe Ebene stößt, und sucht daraus die fächerförmige Ausbreitung desselben (*amplitudo reflexionis*) zu bestimmen. — Der Kasten rs dient hauptsächlich dazu, damit man feste Punkte erhalte, um communicirende Röhren anzubringen. Die Entfernungen der Mündungen der Leitröhren von der Mündung t hängen von der Gleichwindigkeit des Luftstromes ab. Barrot zeigt, daß keine größere Geschwindigkeit als die von 1 Fuß in einer Secunde nöthig sei, daher es hinreichend ist, wenn zur Breite und Länge des Kastens nebst dem Durchmesser von te , und zur Höhe die Länge von 1 Fuß 1 Zoll, nebst dem Durchmesser einer Leitröhre genommen werden. Die Mündung der Leitröhre selbst kommt einen Zoll über den Boden des Kastens. Sollte eine Seite des Kastens frei von Röhren sein, so muß diese Seite von der Röhre te nur einen Zoll entfernt sein. Uebrigens soll man nirgends ein Knie an den Leitröhren anbringen, sondern daselbst, wo etwa eine andere Richtung der Luströhre nöthig wäre, einen Nebenkasten anbringen, dessen Dimensionen aber nur halb so groß sind, als bei dem Hauptkasten rs . Der Winkel, welchen die Seite des Kegels mit seiner Grundfläche macht, muß 24 bis 25 Grad betragen; der obere Durchmesser des Kegels ist allemal der dritte Theil des unteren. Der Raum zwischen beiden Kegeln ist in 8 Kammern abgetheilt, deren Wände den oberen Ke gel tragen, und verlängert durch die Aue der Röhre te gehen; ihre Länge beträgt aber nicht mehr als die Hälfte des Halbmessers, womit die größere

*) Der zweckmäßigste Luftreiniger theoretisch und praktisch beschrieben. Frankf. 1793.

Grundfläche des Kegels beschrieben worden, oder $\frac{3}{4}$ von der Seite des Kegels. Auf solche Art ist die äußere Oeffnung jeder Kammer beinahe dem Durchmesser der kleineren Grundfläche des Kegels gleich. Bläst nun der Wind in die ihm entgegenstehende Kammer, so füllt er sie mit einem Strome, dessen Dichtigkeit gegen den Mittelpunkt immer zunimmt. Wo aber die Wände aufhören, wirkt dieser Strom, wie sich *Barrot* ausdrückt, durch Friction, und bringt daher über der Oeffnung *a b* eine Ausdehnung der Luft hervor. Die Oeffnung *n* des oberen Kegels darf nicht unbedeckt bleiben, denn sonst würden nicht allein die obersten Windstrahlen ohne Saugung unbenutzt zur Oeffnung hinausgehen, sondern sie würden auch zwischen den Seitenflächen der Regel einen Raum mit verdünnter Luft verursachen, wodurch der einströmende Luftstrom nicht gerade auf der Seitenfläche des unteren Kegels fortgleiten könne, sondern über dieselbe emporgehoben werde. Man verschließt daher die obere Oeffnung mit einer kreisförmigen Scheibe, welche von außen zum Ablaufen des Regens etwas erhaben gemacht werden kann. Was die Wirkung der Maschine betrifft, so berechnet *Barrot*, daß die Geschwindigkeit, womit die Luft herausgesogen wird, sich zu der, mit welcher der Wind von außen zwischen die Regel bläst, wie 2 zu 5 verhält. Mannichfaltige Versuche, die er mit Ventilatoren von allen Gattungen und Größen bis auf 2 Fuß im Durchmesser gemacht hatte, bestätigten diese Theorie. — Die Wirkung des Saugventilators würde aber bald aufhören, wenn die Luft, die er fängt, nicht augenblicklich wieder ersetzt wird. Zu dieser Absicht wäre nun schon eine bloße Oeffnung, ein Windrädchen oder eine Röhre, die in die freie Luft reicht, hinlänglich. Allein um die Wirkung der Saugmaschine zu vermehren, giebt *Barrot* einen eignen Druckventilator an, welcher eine gewisse Quantität frischer Luft in den zu reinigenden Ort preßt. Hierzu wird ein Kasten mit den Leitröhren und der Röhre *l c*, wie im vorigen, angelegt, nur der Kopf wird so umgekehrt, daß die größeren Grundflächen der Regel sich aufwärts kehren; auch werden die Regel etwas spitziger, und die Seitenfläche des obersten, wie die Oeffnung einer Trompete, krummlinigt gemacht. Der Durchmesser der kleinen Grundfläche ist hier nur $\frac{1}{4}$ des größeren, auch sind die größeren Grundflächen beider Regel gleich. Der Durchmesser der Röhre hat, wie bei dem Saugventilator, $\frac{1}{3}$ vom Durchmesser der größeren Grundfläche. Zwischen beiden Regelflächen werden hier 12 Windkammern angelegt. Zur Bedeckung gegen die üble Witterung dient ein kegelförmiges Dach, welches mit einer Rinne zum Aufnehmen des Regens und sechs Oeffnungen, wie Tagelöchern, versehen ist. Inwendig hängt diesen Oeffnungen gerade gegenüber ein leichtes Bretchen frei an zwei Lederstücken, an welche der Wind beim Eintritt stößt, und dadurch gegen die untere Mündung gerichtet wird.

Was die zweite Art von Ventilatoren betrifft, so hat sie im Allgemeinen Aehnlichkeit mit gewissen Gebläsen, deren man sich zu Beförderung des Verbrennungsprocesses bedient (s. d. Art. *Gebläse*). Die Erfinder einer ersten dergleichen Maschine waren unabhängig von einander *Hales* *) und *M. Triewald*, doch hatte ein Maschinendirector *Barthelemy* schon früher eine ähnliche Vorrichtung

*) *Treatise on Ventilators*. Lond. 1743. 2d. ed. ib. 1768. II. Vol.; *Phil. Trans.* 1748. T. XLV. p. 410. *Hamburgisches Magazin*. Th. II. S. 28; *Wusch, Handb. der Erfind.* Th. XII. S. 185.

construirt. Gale's Ventilator besteht aus zwei hölzernen Kästen oder Parallelepipedis, deren jedes in der Mitte durch eine um ein Charnier bewegliche hölzerne Klappe (Diaphragma) getheilt ist. Diese Klappen sind an einer Seitenfläche des Kastens durch das Charnier befestigt, und stehen von den übrigen Seiten ringsum um $1\frac{1}{20}$ Zoll ab. Sie sind durch eiserne Stangen an einen Hebel so befestigt, daß man durch Hin- und Herbewegen der Hebelstange, wie bei dem doppelten Druckwerke, abwechselnd eine Klappe um die andere erheben und wieder niederdrücken kann. An den Grundflächen jedes Kastens befinden sich vier Ventile, zwei derselben öffnen sich nach innen, zwei nach außen. Jeder Kasten ist an der Stelle, wo sich die auslassenden Ventile befinden, mit einem vorliegenden kleinen Kasten oder Parallelepipedum verbunden, in welches man bewegliche Röhren einsetzen kann, um durch selbige die Luft dahin zu leiten, wo man deren nöthig hat. Man sieht leicht, daß man es durch diese Maschine in seiner Gewalt hat, ihrer verschiedenen Stellung gemäß, entweder die verdorbene Luft auszupumpen, oder frische Luft einzubringen. Im ersten Falle muß der Ventilator so stehen, daß seine einlassenden Ventile mit dem Zimmer verbunden sind, das Ende der Röhre aber hinaus in die freie Luft geht. In dieser Stellung, welche Gale für die vortheilhafteste hält, konnte man mit einem doppelten Kasten (von 10 Fuß Länge, 3 bis 4 Zoll Breite und 13 Zoll Höhe) in einer Stunde auf 25000 Tonnen Luft auspumpen, und die frische Luft ging dagegen so unvermerkt ein, daß weder die Kranken, noch die Schlafenden im Zimmer davon einige Unbequemlichkeit empfanden. Doch bemerkt der Erfinder, wenn man recht reine Luft auf den Schiffen haben wolle, so müßte der Ventilator fast immer in Bewegung erhalten werden. Um frische Luft einzublasen, müßte die Maschine außerhalb des Zimmers stehen, und die Leiterröhre ins Zimmer geführt werden, wobei aber der entstehende Wind unbequem fallen würde.

Einen sogenannten Centrifugalventilator beschreibt Desaguliers *). Derselbe besteht nach Robison **) aus einer Trommel, in deren Innern sich eine Welle mit einer gewissen Anzahl (vier oder mehr) von Flügelbreitern bewegt. Diese Breiter füllen den inneren Raum der Trommel dergestalt aus, daß nur ein geringer Zwischenraum behufs der ungehinderten Bewegung bleibt. Die Drehung der Welle geschieht durch eine Axe, die beiderseits aus der Trommel hervorragt und mit einer Kurbel versehen ist. Die bewegten Flügel reiben nun die Luft vor sich her durch eine Röhre, während dann gleichzeitig durch eine entgegenstehende Röhre ein Einstömen frischer Luft stattfindet. — Ein von Combes ***) construirtes Centrifugal-Ventilator soll bei 97 Umdrehungen in 1 Minute und bei einem Kraftaufwande von 4,76 Kilogramm. 53 Cubikmeter Luft fortschaffen.

Venus, s. Planeten.

Verbindung, chemische, s. Verwandtschaft, chemische.

Verbrennung (Combustio) **).** Diese Benennung hat die Wissenschaft

*) Philos. Transact. 1735. T. XXXIX. p. 40.

**) System of mechanical philosophy. Edinb. 1822. T. III. p. 802.

***) L'Institut. Gme An. No. 237. p. 324.

****) Vergl. die Art. Feuer, Bd. III. S. 141; Flamme, S. 236 und Heizung, S. 723. Wärme.

aus dem gewöhnlichen Leben übernommen; doch kann man diese That, wie sich aus dem Gange des Art. Feuer ergibt, keine glückliche nennen. Der Name hat sich aber einmal eingebürgert und deshalb fragt man nach seiner Berechtigung wenig.

Nach dem Verhalten bei diesem Vorgange theilt man die Elemente ein in Verbrennungsunterhalter, Combustoren, Zündstoffe oder Zünder und in brennbare oder combustible (Brennstoffe). Die ersteren sind also zur Hervorbringung der Verbrennung wesentlich nothwendig, während die letzteren sich mit jenen unter Feuererscheinung verbinden, so daß man (uneigentlich) sagen kann, jene sind hierbei activ, und diese nur passiv. Einige Chemiker theilen die Combustoren weiter in wirkliche Zünder und Halbzünder ein, je nachdem die Elemente bei diesem chemischen Proceß in einem höheren oder geringeren Grade thätig auftreten. Delss *) rechnet zu ersteren: Sauerstoff, Fluor, Chlor, Brom, Jod, Schwefel, Selen, Tellur und Phosphor; zu letzteren: Arsen, Antimon, Bor, Kiesel, Osmium (?). Als das bestimmteste Unterscheidungszeichen der ersteren Gruppe von der letzteren führt man die saure Reaction ihrer Wasserstoffverbindungen an.

Hirzel **) verlangt sogar neuerdings, daß man die Einteilung der Elemente in Metalloide und Metalle ganz aufgeben solle, weil sie, auf physikalische Eigenschaften gegründet, den Anforderungen der Wissenschaft nicht mehr genügen (vergl. d. Art. Metalle). An Stelle derselben will er die zwei großen Gruppen der Combustoren und Combustibilen — Namen, die sich gerade auch nicht sehr empfehlen, — gesetzt wissen. Zu den Combustoren zählt er diejenigen Elemente, die sich sowohl unter einander als mit denen der anderen Hauptgruppe sehr leicht vereinigen und deren Verbindungen selbst wieder verbindungsfähig sind, jedoch eine viel einseitigere, beschränktere Verbindbarkeit als die reinen Elemente besitzen, und zu der zweiten Hauptgruppe diejenigen Elemente, die sich gewöhnlich leicht mit den verbindungsfähigen Elementen der ersten Hauptgruppe vereinigen und dann, wenn sie sich unter einander vereinigen, Verbindungen bilden, die wieder große Aehnlichkeit mit den Elementen zeigen, so daß man sie oft für solche halten konnte. Zu den Combustoren rechnet Hirzel: Sauerstoff, Fluor, Chlor, Brom, Jod, Schwefel, Selen und Tellur. Indem sich nun jeder Combustor mit den übrigen Elementen vereinigt, entstehen 8 Reihen von Verbrennungsproducten: Oxyde, Fluoride, Chloride, Bromide, Jodide, Sulphuride, Selenide und Telluride.

Die Producte der Verbrennung sind bei allen Körpern entweder Basen oder Säuren oder indifferente Körper. Das Gewicht der Verbrennungsproducte beträgt stets so viel als die Gewichte des brennbaren Körpers und desjenigen, der die Verbrennung bewirkt hat. Es ist ja ein Grundgesetz der Chemie, daß eine chemische Verbindung, und nichts anderes wird ja durch die Verbrennung erzielt, genau eben so viel wiegt, als die Summe ihrer Bestandtheile vor der Verbrennung oder Verbindung. Und daraus folgt, daß die Wärme eben nicht wägbare ist. Ob die Wärme wägbare oder nicht, darüber hat man sich früher vielfach gestritten, jedoch ist man in neuerer Zeit allgemein zu der Ansicht gelangt, daß die Wärme nur auf Bewegung der Materie beruhe. In neuerer Zeit ist jedoch diese Frage

*) Reine Chemie. Bd. I. S. 25.

**) Zeitschrift für Pharmacie 1887.

wieder durch Otto *) in Anregung gebracht, der auf experimentellem Wege gefunden haben wollte, daß das Gewicht der Verbrennungsproducte ein geringeres sei, als man gemeinhin annimmt. Jedoch ist die Unrichtigkeit dieser Behauptung durch eine Reihe von Versuchen, die Feinz **) angestellt hat, hinreichend widerlegt.

Hätten sich Otto's Versuche bestätigt, so wäre der neueren Chemie, die ja eben auf der Theorie der Verbrennung beruht, die Grundlage entzogen worden. Nichts ist lehrreicher als die Geschichte eben dieser Theorie. Jahrtausende war die Verbrennung vor den Augen der Menschen vor sich gegangen, ohne daß man diesen Proceß erkannt hatte. Eine große Menge von irrigen Ansichten gingen der richtigeren Erkenntniß durch Lavoisier voraus und wurden mit Hartnäckigkeit vertheidigt, bevor die richtige Einsicht sich Bahn brach. Daß die Luft hierbei thätig sei, hat man lange Zeit gänzlich aus den Augen gelassen und da die Verbrennung in genauester Beziehung zur Veränderung der Metalle steht, machten sich auch hier die irrigsten Ansichten geltend. Wie man in Bezug auf die Verbrennung von einer Ansicht auf die andere überging, können wir hier nur kurz andeuten.

Bei den Alten war bekanntlich das Feuer ein Element und in Folge dessen nahm man an, daß sich bei der Verbrennung die elementare Feuermaterie abscheide. Diese Ansicht galt lange Zeit, nur gab man der Materie, die sich hierbei abscheiden sollte, andere Namen. In den Metallen sollte Schwefel enthalten sein und in dem Schwefel und ähnlichen Stoffen ein Bestandtheil, dem man den Namen Oleum oder Pinguetudo gab. Bis auf Stahl herab gab man der sich abscheidenden Feuermaterie ein Gewicht. Stahl meinte, daß sich bei der Verbrennung Phlogiston abscheide, daß er indessen nicht mit der Feuermaterie für identisch hielt. Die Feuererscheinung bei der Verbrennung schrieb er einer Bewegung eben dieses Phlogistons beim Auscheiden zu. Eine ähnliche Ansicht stellte auch Böhre auf. Nach ihm sollten die kleinsten Theilchen der verbrennenden Körper durch die hinzuströmende Luft in diese Bewegung versetzt werden.

Allerdings konnte man schon in früherer Zeit die Augen gegen die Mitwirkung der Luft bei der Verbrennung nicht verschließen. Doch sollte diese nicht activ, sondern nur passiv wirken, d. h. einfach die sich abscheidenden Theilchen des Schwefels oder Phlogistons aufnehmen. Schon Key hatte zu Anfang des 17. Jahrhunderts gefunden, daß Blei und Zinn bei der Verkalkung, wie man früher die Oxydation der Metalle nannte, an Gewicht zunehmen. Er sagte zwar, daß diese Gewichtszunahme von der Luft herrühre, aber er glaubte, daß sie mit dem Metalkalk und nicht mit dem Metall eine Verbindung eingehe. Eben so wenig gelangten Hooke und Mayow zum richtigen Verständniß der Thätigkeit der Luft bei der Verbrennung. bis endlich 1772 Lavoisier die Existenz des Phlogistons bestritt und behauptete, daß die Verbrennung einfach in einer Verbindung gewisser Körper mit Sauerstoff bestehe. Und damit wurde er der Begründer der neueren Chemie, obgleich seine Lehre erst nach einem langen Kampfe Anerkennung fand. Allerdings war auch diese Definition der Verbrennung nicht ganz richtig, da, wie bekannt, Feuer und Wärme auch bei anderen Verbindungen, ohne daß dabei Sauerstoff mitwirkt, auftreten, und damit mußte der Grundsatz *ubi ignis et calor, ibi oxygenium* fallen.

*) Zur Theorie der Wärme. Nordhausen 1853.

**) Zeitschrift f. d. gesammte Naturwissensch. Bd. I. S. 417.

Nun suchte man wieder nach einem gemeinsamen Bestandtheil, der in beiden Körpern, dem verbrennlichen und dem, der die Verbrennung bewirkt, enthalten sein sollte, so z. B. Wasserstoff. Aber auch diese Behauptung hat sich nicht bestätigt, so daß man schließlich an die Stelle des wägbaren, gemeinsamen Elementes ein unwägbares — die Electricität setzte.

Die Bedingungen, unter den die Verbrennung eingeleitet wird und andauert, sind bereits in den angeführten Artikeln erläutert, weshalb wir darauf verweisen. Meistens entwickeln die Körper, sobald sie einmal brennen, so viel Wärme, als nothwendig ist, um sie auf dem Temperaturgrad zu erhalten, bei dem sie eben verbrennen. Indessen findet dies nicht bei allen statt. So macht z. B. der Kohlenstoff eine Ausnahme. Eine einzelne brennende Kohle erlischt von selbst an der Luft, weil sie zu viel Wärme durch Ausstrahlung verliert. Es ist ja bekannt, daß man brennende Kohlen dadurch zum Erlöschen bringt, daß man sie aus einander breitet, damit sie sich nicht gegenseitig mit der Wärme, welche jede von ihnen entwickelt, unterstützen können. Ähnlich verhält sich auch der Diamant, der nur so lange in der atmosphärischen Luft fortbrennt, als er im Feuer eines Brennspiegels gehörig erhitzt wird. Entfernt man ihn von hier, so brennt er nicht fort, sondern erlischt sehr bald. Anders aber ist es, wenn die Verbrennung im reinen Sauerstoff vor sich geht. Die Energie, mit der hier die Licht- und Wärmeentwicklung im Vergleich zur atmosphärischen Luft erfolgt, hat darin ihren Grund, daß in letzterer verbrennende Körper durch den in überwiegender Menge vorhandenen Stickstoff zu sehr abgekühlt werden.

Die Wärme entwickelt sich bei der Verbrennung nach bestimmten Verhältnissen und kann in den meisten Fällen gemessen werden. Die Wärmemenge, welche irgend ein Element bei seiner Vereinigung mit einem anderen entwickelt, bleibt sich stets gleich, mag die Verbrennung schnell oder langsam vor sich gehen, sobald nur die Gewichtsverhältnisse dieselben sind. Da indessen die Intensität der Wärme von der Zeit abhängt, in der sie entwickelt wird, so kann es bei einer langsamen Verbrennung vorkommen, daß sich die Wärme nicht äußert, sie sofort abgeleitet wird. Unter allen Elementen entwickelt der Sauerstoff bei seiner Vereinigung mit anderen die meiste Wärme, alle übrigen Combustoren treten darin weit hinter jenen zurück. Ueberhaupt ist der Sauerstoff dasjenige Element, bei dessen Vereinigung mit anderen, seien es Metalle oder Nichtmetalle, am häufigsten Licht und Wärme entwickelt wird, wie denn ja überhaupt dieser Vorgang recht eigentlich Verbrennung genannt wird. Dem Sauerstoff am nächsten steht das Chlor, dann folgt Brom und Jod und dann Selen, Schwefel und Phosphor.

Bei den zusammengesetzten Körpern beobachtet man diesen Vorgang nur selten. So z. B. beim Kali- oder Natronhydrat, wenn man darauf Schwefel-, Salpeter- oder concentrirte Essigsäure tröpfelt; beim Baryt oder Kalk mit denselben Säuren oder Wasser und bei der Bittererde mit Schwefel- oder Salpetersäure.

Im Art. Heizung (Bd. III. S. 737) ist bereits eine Uebersicht der Wärmemengen, welche sich bei der Verbindung verschiedener Brennstoffe mit Sauerstoff entwickeln, gegeben worden, zu der wir im Folgenden eine Ergänzung liefern. Die beiden ersten Spalten bedürfen keiner weiteren Erklärung; III. giebt an, wie viele Gewichtstheile Wasser bei der Verbrennung von 1 Gew.-Th. des brennbaren

Körperd und IV. bei der Vereinigung von 1 Gew.-Th. Sauerstoff mit dem brennbaren Körper um 1° erwärmt werden.

	I.	II.	III.		IV.
Kohle	C	CO ²	3000	Dalton	1125.
			7912	Desprez	2967.
Schwefel	S	SO ²	1500	Dalton	1500.
			2601	Dulong	2601.
Antimon	Sb	SbO ⁴	961	"	3875.
Zink	Zn	ZnO	1314	"	5290.
Zinn	Sn	SnO ²	1233	"	4545.
Zinnorydul	SnO	SnO ²	5434	"	4473.
Eisen	Fe	Fe 3O ⁴	1702	"	4340.
			2088	Desprez	5325.
Kobalt	Co	CoO	1080	Dulong	3995.
Nickel	Ni	NiO	1006	"	3723.
Kupfer	Cu	CuO	632	"	2512.
Kupferorydul	Cu ² O	2 CuO	244	"	2185.
Cyan	C ² N	2 CO ² , N	5195	"	4241.
Aether	C ⁴ H ⁵ O	4 CO ² , 5 HO	4650	Dalton	1792.
			9431	Dulong	3634.
Campher	C ¹⁰ H ⁸ O	10 CO ² , 8 HO	5250	Dalton	1847.

Welter wollte bei Vergleichung der älteren Untersuchungen von Laplace, Lavoisier, Desprez, Rumford gefunden haben, daß die Wärmemenge, welche sich bei der Verbrennung entwickelt, abhängt von der Menge des Sauerstoffs; daß also diejenigen Quantitäten eines brennbaren Körpers, die gleiche Mengen Sauerstoff zur Verbrennung erfordern, auch gleiche Wärmemengen dabei entbinden. Indessen hat sich dieses einfache Verhältniß nicht ganz bestätigt.

Die Lichtmenge hängt ab von der Schnelligkeit, mit der die Verbrennung vor sich geht; sie kann daher bei ein und demselben Stoff, wenn gleiche Mengen desselben verbrennen, sehr verschieden sein. Bei langsamer Verbrennung reicht die Wärme nicht aus, um Licht hervorzubringen. Nur wenige Körper machen hier eine Ausnahme; so z. B. Phosphor, das leuchtende Holz und verschiedene andere organische Körper (vergl. Phosphorescenz im Art. Licht). Je rascher die Verbrennung vor sich geht und je höher sich dabei die Temperatur steigert, um so mehr Licht wird von gleichen Gewichtsmengen ein und desselben Körpers ausgestrahlt. Mit der verschiedenen Temperatur nimmt das Licht, sobald der Körper nur glüht und nicht mit Flammen brennt, eine verschiedene Farbe an. Nach Pouillet entspricht dem anfangenden Glühen eine Temperatur von 525°, der Dunkelrothgluth 700°, dem anfangenden Rirschroth 900°, dem vollständigen Rirschroth 1000°, der hellen oder starken Rothgluth beim Anfange (dunkelgelbroth) 1100°, später beim hellen Glühen 1200°, der Weißgluth 1300 bis 1600°. Die Temperatur des anfangenden Glühens scheint für die verschiedensten Körper die nämliche zu sein; wenigstens wurde bei Platin, Kupfer, Antimon, Steinkohle, Blei und Eisen kein erheblicher Unterschied gefunden. Die Gesteine indessen scheinen eine Ausnahme zu machen, so glühen z. B. Kalkstein und Marmor früher als Eisen und Flußspath schon bei 300°. Einige zusammengesetzte Körper, wie z. B. Chrom-

oxydhydrat, Zinkerdehydrat, antimonsaure Metallsalze, kiesel-saure Bittererde, Titan-, Tantal-säure u. s. w., gerathen bei höherer Temperatur plötzlich in ein heftiges Erglühen, was seinen Grund wohl in einer Umlagerung der einzelnen Theilchen haben mag.

Ueber die Ursache der Feuerentwicklung sind, wie schon oben angedeutet, die verschiedensten Theorien aufgestellt worden. Gemeinhin nimmt man an, daß alle Körper, die zündenden sowohl wie die brennbaren, Wärme inniggebunden enthalten, die eben beim Verbrennen frei wird. Andere sind der Meinung, daß sich beim Verbrennen die entgegengesetzten Electricitäten der beiden Körper ausgleichen, oder zu Wärme zusammentreten. Hiernach hätten wir die Erscheinung bei der Verbrennung beiden Körpern in gleichem Maße zuzuschreiben, so daß es ebenso mißlich ist, wenn nicht gar in einem höheren Grade, von Combustoren und Combustibilen zu sprechen, wie von Metallen und Nichtmetallen. Es läßt sich schwer entscheiden, welcher Körper verbrennt und welcher die Verbrennung unterhält. Hiernach ist man berechtigt, ebenso gut zu sagen, der Sauerstoff verbrennt im Wasserstoff als umgekehrt.

Zur Stütze dieser Ansicht, also der sogenannten elektro-chemischen Verbrennungstheorie hat *Remy* *) verschiedene Experimente erdonnen. Hiernach verbrennen atmosphärische Luft, Sauerstoff, Chlor, salpetrige Säure und Chromchlorid sehr gut im ölbildenden Gase. Namentlich die Verbrennung des Chlors soll eine prächtige Erscheinung abgeben. Man läßt dasselbe in Form eines Strahls in eine mit ölbildendem Gase gefüllte Flasche einströmen; entzündet man das Gas an der Ausströmungsöffnung, so verbrennt das Chlor im Innern und veranlaßt die Ablagerung von bedeutenden Mengen Kohle. Atmosphärische Luft und salpetrige Säure brennen mit einer blassen Flamme. Chromchlorid, in einer gläsernen Schale eingebracht, brennt längere Zeit. Es setzt sich hierbei keine Kohle ab, wohl aber ein grünes Pulver. In Schwefelwasserstoffgas brennen dieselben Substanzen auch und Chromchlorid brennt sogar mit Lebhaftigkeit in den Dämpfen des Schwefelchlorürs, unter Absehung eines rosenrothen Pulvers. Hiernach treten also die eigentlichen Zünder unter Umständen auch als brennbare Körper auf. Es verbrennen sogar zwei Verbindungen, die ganz denselben Zündstoff enthalten.

Bei seinen Untersuchungen über die Verbrennung, die *Davy* anstellte, um ein Mittel gegen die Gasexplosionen in Steinkohlenbergwerken aufzufinden (s. den Artikel *Sicherheitslampe*, Bd. V. S. 859), entdeckte er **), daß ein Stückchen Platindraht, welches durch die Dellelampe glühend geworden, nach dem Erlöschen derselben lange Zeit fortglühte. Es fand also hier eine Oxydation (unvollständige Verbrennung) des Kohlenwasserstoffgases statt, oder vielmehr sie dauerte fort und merkwürdigerweise übertrug sich die Feuererscheinung, sonst eine Folge der Oxydation des Kohlenwasserstoffgases, von dem brennbaren Körper auf einen anderen, der sich weder oxydirt, noch brennt. Der Sauerstoff verbindet sich in der Berührung mit dem heißen Draht mit den Bestandtheilen des Kohlenwasserstoffgases und zwar ohne Flamme; es wird hier aber soviel Wärme frei, daß der Draht glühend und zugleich die Verbrennung des Gases unterhalten wird. Um diese merkwürdige Erscheinung hervorzubringen, reicht eine Temperatur weit unter dem Glühen hin. *Davy* zog den Draht wiederholt aus dem Gasgemisch heraus und ließ ihn an der

*) Journ. für prakt. Chemie. Bd. III. S. 44.

**) Gilbert's Annal. Bd. LVI. S. 242.

Luft erkalten, bis er nicht mehr roth glühte. So oft er ihn dann wieder in das Gasgemisch hincintauchte, glühte der Draht immer wieder von Neuem. Dieselben Erscheinungen traten ein bei Gemischen von Luft mit ölbildendem Gas, Kohlenoxyd, Cyan und Wasserstoff; bei letzterem erzeugte sich sehr schnell Wasser; ebenso in Dämpfen von Alkohol, Aether, Terpentinöl und Steinöl. Bei Anwendung der Dämpfe der ersten beiden Flüssigkeiten beobachtet man bald einen flüchtigen und stechenden Geruch; es bilden sich saure, flüchtige Verbindungen, welche die Augen zu Thränen reizen. Die Producte dieser unvollständigen Verbrennung sind: Aldehyd (Acetylsorbydhydrat $C^4H^2O + HO$), acetylige Säure (lange Zeit unter dem Namen Lampensäure bekannt, $C^4H^2O^2 + HO$) und Essigsäure. Beim Cyangas bildet sich salpetrige Säure. Außer Platin zeigt nur Palladium ein ähnliches Verhalten, — Kupfer, Silber, Eisen, Gold und Zink gerathen unter diesen Umständen nicht ins Glühen. Die beiden ersten Metalle sind im Vergleich zu den übrigen schlechte Leiter der Wärme und haben verhältnißmäßig nur eine geringe Capacität für die Wärme. Das ist wohl der Hauptgrund, warum sie die langsame Verbrennung unterhalten und sichtbar machen. Die letztern Angaben Davy's werden jedoch von Anderen bestritten. So soll sich z. B. nach Kar m a r s c h *) Silberdraht gerade so verhalten wie Platin und S ö m m e r i n g und G h l a d n i **) wollen sogar Eisen- und Stahl Draht Tage lang im Glühen erhalten haben. Nach R e i n s c h kommt diese Eigenschaft den Drahten aller nicht schmelzenden Metalle zu, jedoch währt das Glühen hier nicht so lange, wie beim Platin. Beim Kupfer dauert das Glühen z. B. nur 2 bis 3 Minuten; bringt man indeß in die Spirale vor dem Erhitzen ein Stückchen Coaks, so glüht der Kupferdraht nach dem Erlöschen der Flamme beliebig lange fort. Das Glühen hört sogar nicht auf, wenn man das Stückchen Coaks entfernt. Dasselbe findet auch statt, wenn man diesen Kupferdraht ohne Coaks wieder von Neuem erhitzt und ins Glühen bringt. Diese eigenthümliche Veränderung soll nach R e i n s c h *** von einer elektrischen Wirkung herrühren, die zwischen Kupfer und Coaks beim Berühren stattfindet.

D ö b e r e i n e r fand, daß auch locker zusammenhängendes Platin, sogenannter Platinschwamm, der in Alkoholdampf unter Zutritt der Luft erhitzt wird, einmal ins Glühen gebracht, so lange fortglüht, als Alkoholdampf und Sauerstoff vorhanden sind. Gerade so sollen sich gepulverter Braunkstein, Nickelskohal-Staub und der Rückstand (beim Zerlegen durch Glühen) der oralsäuren Salze von Nickel-, Kobalt-, Uran- und Zinnoryd verhalten. Ueber das Verhalten der Dryde hat neuerdings A s h b y **** eine ausführliche Untersuchung geliefert, nach der besonders den Dryden H^2O^3 in hohem Grade die Eigenschaft zukommen soll, die Verbrennung der Dämpfe von Holzgeist und Alkohol zu unterhalten.

In Folge dieser Versuche construirte Davy einen eigenen, kleinen Apparat, der seiner Zeit als Lampe ohne Flamme oder Davy's Glühlampe (aphlogistic lamp) großes Aufsehen erregte. Man biegt einen $\frac{1}{80}$ Zoll dicken Platindraht zu einer Spirale von 8 bis 10 Windungen und hängt diese an einem andern Platindraht, den man in den Docht einer Spirituslampe steckt, so auf, daß die Spirale sich nahe

*) Gilbert's Annal. Bd. LXXV. S. 89.

**) Abend. Bd. LXI. S. 346.

*** Arch. d. Pharm. Bd. CXXXIV. S. 187.

**** Phil. Mag. [4] T. X. p. 52. Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVII.

über dem Dochte befindet. Man bringt die Spirale durch Entzünden des Dochtes ins Glühen und löscht die Flamme dann aus. Man empfahl diesen kleinen Apparat, der das möglichst wohlfeile, reinlichste, feuersicherste und bequemste Mittel abgeben sollte, Tag und Nacht stets Feuer zur Hand zu haben, besonders als Nachtlampe, bei der man sogar lesen könne. Aber die unangenehmen Säuren und stechenden Dämpfe machten sich zu sehr bemerklich, so daß diese Nachtlampe nicht sonderlich viele Liebhaber fand. Derselbe Umstand hat auch die Verwendung als Räucherlampen verhindert.

Nach Döbereiner glüht auch der verkohlte Docht einer Spirituslampe nach dem Auslöschen der Flamme fort, so lange noch ein Tropfen Spiritus zugegen ist. — Die Lichterscheinung bei der Davy'schen Glühlampe, die noch immer bei den Vorlesungsversuchen thätig ist, tritt nur sehr schwach auf, so daß sie nur in der Nähe wahrzunehmen ist, wogegen sich der Geruch der hierbei entstehenden Oxydationsproducte in kurzer Zeit sehr bemerklich macht. Nach Wohl *) kann man indeß den Versuch auf folgende Art in sehr überraschender Weise zeigen. Ein kleiner Stehkolben wird mit einem Kork verschlossen, durch den eine am oberen Ende ausgezogene Glasröhre geht. Man füllt den Kolben zur Hälfte mit Weingeist und bringt diesen ins Kochen, so daß die Dämpfe mit einiger Gewalt zur Röhre ausströmen. Stellt man 2 1/2 Zoll darüber einen ausgewärmten Platiniegel auf, so kommt er sehr bald ins Glühen, das so lange anhält, als noch Alkoholdämpfe in genügender Menge gebildet werden. Auf dem verkehrt aufgelegten Deckel läßt sich Leidenfrost's bekannter Versuch mit Wasser zeigen. Entfernt man den Deckel des Tiegels während des Glühens, so kommt letzterer in so helles Glühen, daß sich der Alkoholdampf daran entzündet. Die Flamme umspielt den Tiegel und erscheint an den Wänden und an dem Boden wie blau, über der Oeffnung jedoch mattgelb mit einem Stich ins Grüne. Schon in einem mäßig dunkeln Zimmer erscheint hierbei ein phosphorisches Leuchten, wie es Davy beim Aether beobachtete. Die phosphorische Flamme hat die Gestalt eines umgekehrten Kegels, dessen Basis der Boden des Platiniegels, die Spitze hingegen die Dampfausströmungsöffnung bildet. Die röthlichgelbe Farbe des Lichtscheins tritt in einem vollkommen verfinsterten Zimmer besonders deutlich hervor.

Statt des Alkohols lassen sich auch andere brennbare Flüssigkeiten anwenden. Beim Aether wirkt zu rasche Verdampfung nachtheilig, da der Dampf dann mit zu wenig Luft gemischt den Tiegel trifft und nur dessen obere Ränder in lebhaftes Glühen gerathen. Vergrößert man bei heftigem Kochen des Aethers die Entfernung zwischen Tiegel und Ausströmungsöffnung, so gelingt der Versuch ebenfalls.

Die in der neueren Zeit sich immer mehr verbreitende Verwendung des Leuchtgases als Brennmaterial in den chemischen Laboratorien hat Veranlassung gegeben zu der Beobachtung, daß das Glühen eines Platiniegels nach dem Auslöschen der Flamme ziemlich lebhaft durch den Gasstrom beliebig lange Zeit unterhalten wird.

In Bezug auf den Artikel *Flamme* haben wir noch nachzutragen, daß Hilgard seitdem eine Untersuchung über die Lichtflamme ausgeführt **) und hierbei die Zusammensetzung der in ihr in verschiedenen Höhen enthaltenen Gase bestimmt, sowie die Natur ihrer verschiedenen Theile besser erforscht hat, als dies früher der

*) Sitzungsber. d. Wiener Akad. Math. naturw. Cl. Bd. XII. S. 89.

**) Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCII. S. 120.

Fall war. In Bezug auf die ersteren ergaben die Resultate in dem Innern der Flamme einen unerwartet großen Gehalt an Stickstoff, der davon herrührte, daß die Luft in nahezu horizontaler Richtung an und in die Flamme tritt. Etwa 2^m über dem Dochtrand zeigt das Gas in der Flamme ein Minimum an Stickstoff, weil durch die größere Hitze und die zunehmende Verziegung hier mehr permanente Gase gebildet werden, wodurch der Stickstoffgehalt immer mehr zurücktreten muß. — Die Menge der Kohlensäure ist der des Glases immer nahezu umgekehrt proportional. Sehr constant ergeben sich für das stickstofffreie Gas die Summen der Gehalte an Kohlensäure, Glasp- und Kohlenoxydgas. Der Gesamtgehalt dieser drei Gase scheint sich bis zu einer Höhe von 7 bis 8^m nur unwesentlich zu verändern. Weiter oben aber wächst er, weil die Oxydationsproducte überwiegen.

In Bezug auf die, die einzelnen Flammtheile charakterisirenden Vorgänge kommt Hilgard zu folgenden Resultaten. Die blaue Zone an der Basis der Flamme, die Hülle, entsteht durch Verbrennung derselben Gase, welche auch in dem innern Kel der Flamme enthalten sind; der Ueberfluß des hinzutretenden Sauerstoffs ist die Ursache dieses bläulichen Lichtes. Der innere Kel der Flamme bildet den Apparat, in welchem die Vergasung der von dem Dochte aufsteigenden Destillationsproducte vor sich geht und von welchem aus die leuchtende Hülle gespeist wird. Zu dem Inhalte derselben kommen noch die mit dem atmosphärischen Stickstoff gemengten Oxydationsproducte der brennenden Hülle, welche von der umgebenden Luft fast widerstandlos durchströmt wird. Die Luft selbst wird bei dem Durchgang durch die brennende Hülle des freien Sauerstoffs vollständig beraubt, der nur in Form von Wasserdampf und Oxiden des Kohlenstoffs den innern Kel erreichen kann. Auf der Einwirkung der von außen eintretenden oxydirten Substanzen auf die im Innern des Kegels enthaltenen reducirenden verbrennlichen Stoffe beruht die Zusammensetzung der Gase in den verschiedenen Höhen der Flamme. Die bisher üblichen Ansichten über das örtlich getrennte Auftreten einzelner Gase in den verschiedenen Theilen der Flamme sind hiernach unhaltbar.

Die den innern Kel allseitig umschließende leuchtende Hülle, eine glühende und brennende, stetig erneuerte Gaswand, ist der eigentliche, den Lichteffect bedingende Verbrennungsapparat der Flamme. Die nach außen gekehrte Seite dieser Wand muß noch freien Sauerstoff enthalten, welcher die brennende Gaschicht eine Strecke weit durchdringt, bis er in der Form von Kohlenstoffoxiden und Wasserdampf in den innern Kel gelangt. Hierbei muß die Intensität der Flamme um so schwächer sein, einen je größern Weg der zur Flamme zutretende Sauerstoff bereits zurückgelegt hat. Es erklärt sich hieraus die dunklere Färbung der oberen, inneren leuchtenden Hülle. Jeder höher liegende Theil der Flamme erhält von dem unter ihm liegenden die daselbst gebildeten Verbrennungsproducte, die sich mit den an Ort und Stelle erzeugten Gasen mischen und nach der Spitze hin wird die Flamme also immer ärmer an brennbaren Gasen. Die die höheren Theile der Flamme von außen her durchdringende Luft kann somit bis zur völligen Verzehrung des freien Sauerstoffs einen weiteren Weg in der brennenden Gaswand zurücklegen, d. h. die Dicke der brennenden Gaswand oder der leuchtenden Hülle muß nach der Spitze der Flamme hin zunehmen und die leuchtende Hülle erscheint oben als ein massiver Kel. Die mit der Zerlegung des Glases verbundene, die Helligkeit der Flamme bedingende Ausscheidung von Kohle erfolgt fast ausschließlich in der leuch-

tenden Hülle und es ist sehr wahrscheinlich, daß auch im Glahl der Wasserstoff leichter und früher verbrennt als die Kohle.

Der eigentliche Reductionsraum der Flamme liegt in der dem innern Regel zugekehrten Grenze der leuchtenden Flammenspitze. Der sogenannte Schleier der Flamme umgiebt die ganze Flamme und nicht etwa bloß den untern Theil derselben. Dies ergibt sich namentlich, wenn man ein Natronsalz oder etwas Phosphorsäure auf den Docht bringt. Der Schleier besteht aus atmosphärischer Luft, gemengt mit den letzten Verbrennungsproducten der Flamme. — Die schwächere Leuchtkraft der Talgflamme setzt Hilgard auf Rechnung des Oelsäuregehaltes, ohne daß er indeß den Vorgang im Einzelnen näher erklärt.

Bei verschiedenen Brennmaterialien ist, je nach der Natur der vorkommenden Zersetzungen, die Beschaffenheit der Flamme sehr verschieden. Sehr häufig ist der leuchtende Theil unterdrückt, seltener der Schleier. Der innere Regel kann der Natur der Sache nach niemals fehlen, und auch die Hülle ist fast immer repräsentirt, als der Theil, wo das noch unverdünnte brennbare Gas bei niedriger Temperatur mit Luft von vollem Sauerstoffgehalt in Berührung kommt. Die Flamme des Kohlenoxyds besitzt deutlich den dunkeln Regel (hier das noch kältere, unentzündete Gas enthaltend), Hülle (dunkelblau) und Schleier (gelbroth, nicht scharf abgegrenzt von der umgebenden Luft). Ebenso ist es beim Schwefel, wo die Hülle blau, der Schleier violett röthlich ist. Bei der Weingeistflamme ist der innere Regel wegen der Leichtflüchtigkeit des Brennmaterials sehr groß, die leuchtende Hülle bildet wegen sehr geringer Ausscheidung von Kohlenstoff nur einen ganz dünnen Regelmantel und der Schleier erscheint, weil das Auge nicht geblendet wird, ungewöhnlich ausgedehnt.

An diese Untersuchung schließt sich die von Landolt *) über die chemischen Vorgänge in der Flamme des Leuchtgases. Das Steinkohlenleuchtgas wurde von Kohlensäure, Sauerstoff und Wasserdampf möglichst befreit und trat unter einem constanten Druck von 17 Pariser Linien Wasser in den Brenner. Das Gas (die Verbrennungsproducte) wurden aus verschiedenen Höhen mittelst eines Aspirators abgesaugt und analysirt. Landolt erinnert daran, daß die die Flamme unterhaltende Luft in dieselbe eintritt und der dadurch eingetretene Stickstoff nebst den Verbrennungsproducten, Kohlensäure und Wasserdampf, nach den oberen Theilen der Flamme hin immer mehr zunimmt. Um in die chemischen Vorgänge, die im Innern der Flamme statt haben, genauere Einsicht zu erhalten, sucht er die relativen Luftmengen zu bestimmen, durch deren Zutritt zu einer gewissen Menge Leuchtgas sich das in verschiedenen Höhen befindliche Flammengas bildete. Die plötzliche Zunahme der dem Leuchtgas zutretenden Luftmenge zwischen 10 bis 20^{mm} Höhe über der Ausflußöffnung schreibt Landolt dem Einfluß des bis zu letzterer Höhe um die Flamme herabreichenden Glaszylinders zu. Daß die Kohlensäure nach den oberen Theilen der Flamme nicht in so starkem Maße, als man erwarten sollte, zunimmt, erklärt er daraus, daß ein Theil derselben durch die Einwirkung der in der Flamme ausgeschiedenen Kohle unter Bildung von Kohlenoxyd zersetzt wird. Es beruhe hierauf auch die Zunahme des Kohlenoxyds im Flammengas von 30 bis 50^{mm} Höhe.

*) Pogg. Ann. Bd. XCIX. S. 389.

Die einzelnen brennbaren Gase verschwinden bei dem Aufsteigen in der Flamme nach dem Grade ihrer Verbrennlichkeit. Der Wasserstoff verschwindet bis zur Höhe von 20^{mm} am schnellsten; darüber hinaus nimmt er im Flammengas wieder zu, in Folge der Einwirkung der freien Kohle auf den Wasserdampf. Langsamer verschwindet das Sumpfgas und noch langsamer die schweren Kohlenwasserstoffe, welche sich bis gegen 40^{mm} Höhe in der Flamme fast unverändert erhalten und deren Verbrennung erst in den oberen Theilen der Flamme vor sich geht.

Der am stärksten leuchtende Theil der Flamme liegt nach *Landolt* etwas über der Stelle, wo der dunkle Kegel aufhört. Bei einer 100^{mm} hohen Gasflamme, in welcher der dunkle Kegel bis zu ungefähr 65^{mm} reichte, lag der am stärksten leuchtende Theil bei 70^{mm} Höhe und die Lichtstärke dieses Theiles = 100 gesetzt, ergab sich die von anderen Theilen der Flamme am Rande (*Jr*) oder in der Mitte derselben (*Jm*) bei 0^{mm} Höhe über dem Brenner:

	80 ^{mm}	70 ^{mm}	60 ^{mm}	50 ^{mm}	40 ^{mm}	30 ^{mm}
<i>Jr</i>	66	100	71	47	20	4
<i>Jm</i>	66	100	59	24	5	—

Steinheil, v. *Heing* und *Gier* haben sich in Baiern ein Verfahren, den Temperaturgrad der Verbrennung eines brennbaren Stoffes in atmosphärischer Luft zu erhöhen, patentirt lassen *). Dasselbe besteht einfach darin, die Verbrennung unter einer höheren Pression, als die atmosphärische, auszuführen. Es ist bekannt, daß atmosphärische Luft mit Leuchtgas ($\frac{1}{10}$) gemengt in einem verschlossenen Gefäß durch den elektrischen Funken entzündet mit einer um so größern Expansionskraft detonirt, je stärker das Luft- und Gasgemenge vor der Entzündung comprimirt war. Schon an und für sich ist einleuchtend, daß, wenn in demselben Raume und in derselben Zeit die doppelte oder dreifache Gewichtsmenge eines brennbaren Körpers vollständig verbrennt, dieser Raum eine doppelte oder dreifache Wärmemenge erhalten müsse. Nichts destoweniger wird heute noch die Ansicht allgemein gelehrt, daß jeder brennbare Körper nur im Maximum mit derjenigen Temperatur verbrennen könne, welche der zur vollständigen Verbrennung erforderlichen Sauerstoffmenge entspricht. In Bezug auf die Quantität der Wärme ist dies auch richtig, aber nicht in Bezug auf die Intensität oder den pyrometrischen Effect. Die Menge oder Quantität der Wärme, die sich aus der Verbindung eines Gewichtstheiles des brennbaren Stoffes mit den zur vollständigen Verbrennung erforderlichen Gewichtstheilen Sauerstoff ergibt, kann nicht vermehrt werden, aber der durch das Thermometer meßbare Hitzgrad, wenn in denselben Raum mehr verbrennende Gewichtstheile gebracht, diese concentrirt, zusammengedrückt werden. Man hat sich dadurch irre leiten lassen, daß das Gebläse mit gepressten Gasen die Temperatur nicht erheblich steigerte. Aber diese entweichen und verbrennen ja in der freien Luft, wobei sie sich natürlich bis zur atmosphärischen Spannung ausdehnen und schon dadurch viele Wärme binden.

Um daher innerhalb gewisser Grenzen jeden brennbaren Körper bei beliebig hoher Temperatur mit Luft zu verbrennen, ist es nur erforderlich, den Verbrennungsproceß so einzuleiten, daß er bei höherer Spannung des Heizräumcs continuirlich erhalten werde. Dies wird erlangt bei Flammöfen, wenn Luft und Gas

*) *Dingler's polytechn. Journ.* St. CXXXVII. S. 349.

mit einer größern Pression in den Feuerraum getrieben werden, als die Pression in der Abzugsöffnung der Verbrennungsproducte ist. Um so viel Mal man die Pression steigert, erhöht sich die Temperatur. Bei so hoher Temperatur entsteht nun aber auch ein so mächtiger Strom der erhitzten und ausgedehnten Verbrennungsproducte, welche aus dem Ofen entweichen, daß er zum Betriebe einer Kraftmaschine ebenso gut als ein ähnlicher Strom von Wasserdampf von gleicher Spannung und gleichem Durchmesser verwendet werden kann.

Soll festes Brennmaterial verwendet werden, so muß der Ofen zur Beheizung und zum Abführen der Asche oben und unten eine Vorrichtung erhalten, welche das Ein- und Ausbringen gestattet, ohne den luftdichten Schluß zu unterbrechen. Hier ist comprimierter Wind allein zur Verbrennung hinreichend und es muß die Windmenge in solchem Verhältniß zur Gesamtoberfläche des Brennmaterials stehen, daß eine vollständige Verbrennung erzielt wird. Die hohe Temperatur der abziehenden Verbrennungsproducte kann ganz ähnlich wie ein Knallgasgebläse zum Erglühen von Kalk, Kohle u. s. w. benutzt und somit auch als Leuchtkraft verwendet werden.

Wegen der 4 Mal kleineren specifischen Wärme der Luftarten und ferner dadurch, daß, weil in geschlossenem Raume geheizt wird, sich die Wärme nahe um $\frac{1}{2}$ der bei constantem Druck vermehrt und alle Wärme benutzt wird und daß kein besonderes Feuer und kein besonderer Schlot nöthig ist, wie jetzt bei den Dampf- und calorischen Maschinen, hat der heiße Luftstrom als Triebkraft große Vorzüge vor dem Wasserdampf. Benutzt man die Expansion des erhitzten Luftstroms bis dahin, daß die Luft mit einer Minimaltemperatur aus der Maschine tritt, so erzielt man auch das Maximum der möglicher Weise zu erreichenden Arbeit und dies erlangt man, wenn der Luftstrom durch eine Dampfturbine geht.

Bei diesem Verfahren sind auch geringere Brennmaterialien, die man jetzt nicht immer bei der Feuerung und Beleuchtung verwenden kann, ebenso tauglich wie sonst die besten. Der Chemie, Metallurgie und fast allen technischen Künsten und Gewerben ist hierdurch ein ganz neues Feld eröffnet, da sie bei Temperaturen arbeiten können, die sonst nicht zu erreichen waren. Ferner ist Aussicht vorhanden, eine bewegende Kraft um vieles billiger als der Dampf herzustellen, wodurch die Benützung derselben in Sphären ermöglicht ist, denen sie bisher unzugänglich war.

W. B.

Verdichtung der Gase. — Die wichtigsten Untersuchungen über diesen Gegenstand verdanken wir Faraday, der dazu von H. Davy veranlaßt worden war. Er schmolz Chlorhydrat *), das möglichst gut zwischen Löschpapier getrocknet worden, in eine Glasröhre ein und stellte diese in warmes Wasser von $37,5^{\circ}\text{C}$. Sofort verwandelte sich das Chlorhydrat in zwei flüssige Schichten, die sich nicht mit einander vermischten. Sobald die Röhre zerbrochen wurde, erfolgte eine Explosion und die gelbe, ölige Flüssigkeitsschicht, das flüssige Chlor, verflüchtigte sich wieder als Gas. Faraday bezweifelte anfangs, ob es ihm wirklich gelungen sei, das Chlor zu einer Flüssigkeit zu verdichten, da er der Ansicht war, daß sich in diesem Falle auch ein neues Chlorhydrat gebildet haben könnte. Doch bald gelang es ihm, Chlorgas, das über Schwefelsäure getrocknet worden, zu verdichten, indem er

*) Phil. Transact. 1823. pag. 160 u. 183. Glib. Annal. Bd. LXXV. S. 335.

dasselbe mittelst einer kleinen Compressionspumpe in eine Glasröhre einpreßte und diese stark erkälte. Auf ganz ähnliche Weise verdichtete Faraday auch die schwefelige Säure, Schwefelwasserstoffgas, Kohlenäure, Cyan und Stickstoffoxydul. S. Davy hatte zu diesen Versuchen aufgemuntert, indem er hoffte, daß die durch die Verdichtung der Gase entstandenen Flüssigkeiten eine Verwertung als mechanische Kräfte zulassen würden. Er hegte insbesondere die Hoffnung, dadurch Dämpfe zu gewinnen, die, bei der Leichtigkeit, mit welcher ihre Flüssigkeit durch geringe Steigerung oder Verminderung der Temperatur vermehrt oder vermindert werden kann, zu denselben Zwecken anwendbar wären, wie Wasserdampf. Was man bis dahin nur mit großem Aufwande von Brennmaterial mittelst des Wasserdampfes erreicht hatte, glaubte Davy hier durch den bloßen Unterschied der Temperatur in Sonnenchein und Schatten, in Luft und Wasser oder durch die Wirkungen der Verdunstung von einer feuchten Fläche aus erzielen zu können. Bis jetzt aber sind diese Aussichten keineswegs in Erfüllung gegangen und der Nachtheil des Wasserdampfes ist dadurch nicht der geringste Abbruch gethan.

Später nahm Faraday seine Versuche wieder auf *). Neben einem bedeutenden Druck wendete er zugleich auch eine sehr niedrige Temperatur an. Um den ersteren hervorzubringen, gebrauchte er die mechanische Kraft zweier auf einem Tische befestigter Luftpumpen, deren Kolben bei der einen 1" und bei der andern nur $\frac{1}{2}$ " Durchmesser hatten. Beide Pumpen waren mittelst einer Röhre so mit einander verbunden, daß die erstere das Gas in und durch die Ventile der zweiten trieb, so daß die zweite das Gas schon bis auf 10, 15 oder 20 Atmosphären verdichtete Gas unter einem viel höheren Druck in den für dasselbe bestimmten Recipienten einpreßte. Um die Gase wasserfrei zu machen, mußten sie auf ihrem Wege zur Pumpe eine vielfach gewundene Glasröhre passieren, die in einer Kältemischung lag. Das Wasser wurde dadurch bereits in den ersten beiden Zollen dieser Röhre condensirt.

Die Röhren, in denen das Gas verdichtet wurde, waren von gewöhnlichem Glase; sie besaßen einen äußern Durchmesser von $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{4}$ ", eine Wandstärke von $\frac{1}{16}$ bis $\frac{1}{30}$ " und eine Länge von 9 bis 11". Die Form war verschieden (s. beistehende Figur I. u. II.); beide wurden mit der Krümmung in ein kaltes Bad getaucht.

I.



II.



Die Verbindungen der Glasröhren mit den Pumpen hielten einen Druck von 50 Atmosphären aus. Bei einzelnen Probeversuchen wurde sogar ein Druck von 67 und 118 Atmosphären angewendet, ohne daß die Röhren gebarsten wären oder die Verbindungen nachgegeben hätten.

*) Poggend. Annal. Bd. LXIV. S. 467. Grg. Bd. II. S. 193 u. 219.

Als Kältebad wurde eine Mischung von fester Kohlensäure und Aether angewendet. Ein Bad von 4 Cubitzoll Inhalt war leicht auf 20 oder 30 Minuten anwendbar, denn so lange erhielt sich die feste Kohlensäure. Die Röhren hielten die plötzliche Erkaltung sehr gut aus. Da sich durch die Kälte Resultate erlangen lassen, die man durch den Druck allein nicht zu erzielen im Stande ist, so suchte Faraday dadurch eine noch bedeutendere Kälte hervorzubringen, daß er das Bad unter die Luftpumpe brachte. Die Luft und die gasförmige Kohlensäure wurden rasch entfernt. Hierdurch sank die Temperatur so tief — bis auf -110° — daß die mit Aether gemischte Kohlensäure nicht flüchtiger war als Wasser bei $+30^{\circ}$ C. oder Alkohol bei gewöhnlicher Temperatur.

Die Vorrichtung durch welche die Wirkung des Kältebades mit dem Druck der Pumpen vereinigt wurde, war sehr einfach. Eine oben offene Luftpumpenglocke war verschlossen durch eine Messingplatte, welche mittelst einer Stopfbüchse eine etwa 6" lange, leicht auf- und abzuschiebende Messingröhre luftdicht hindurch ließ. Die Glasröhre wurde an das untere Ende der Messingröhre angeschraubt und das obere Ende der letzteren mit der Pumpe verbunden. Bevor die Versuche anfangen, wurde natürlich erst die Luft durch die betreffenden Gase aus dem Apparat entfernt. Auf diese Art wurden außer den bereits angeführten Gasen noch älbildendes Gas, Chlornasserstoffsäure, Ammoniak, Arsen-, Brom- und Jodwasserstoff verdichtet, meistens sehr leicht. Hatte man vorher die Glasröhren über der Weingeistlampe ausgezogen, so ließen sich diese Substanzen auch mit Leichtigkeit hermetisch einschließen.

Die hierbei erzielten Resultate sind folgende: älbildendes Gas verdichtet sich zu einer klaren, farblosen Flüssigkeit, die indessen im Vacuo nicht zum Erstarren zu bringen war. Die Spannung des Dampfes war auffallend verschieden; die Differenzen schwanken zwischen 3 bis 8 Atmosphären, wahrscheinlich, weil das Gas nicht rein war. — Jodwasserstoffsäure ist leicht zu verdichten. Bei -51° erstarrt sie zu einer vollkommen klaren und durchsichtigen Masse, die, ähnlich dem Eise, mit zahlreichen Sprüngen und Rissen durchzogen ist. Der Dampf hat dann noch nicht den Druck einer Atmosphäre. Bei einer etwas höheren Temperatur verwandelt sie sich in eine klare Flüssigkeit.

Bei $-17,8^{\circ}$ betrug der Druck 2,9 Atmosphären.

 " 0° " " " 3,97 " und
 " +15,5° " " " 5,86 "

Bromwasserstoffsäure verdichtet sich bei $-73,3^{\circ}$ zu einer klaren farblosen Flüssigkeit. Wird diese weit unter -86° erkaltet, so erstarrt sie zu einer klaren, krySTALLINISCHEN Masse, die indessen erst bei -86° wieder flüssig wird. — Chlornasserstoffsäure verdichtete sich wohl zu einer Flüssigkeit, aber sie erstarrte nicht. Der Druck des Dampfes betrug bei

— 73,3°	1,80 Atmosph.	— 36,1°	8,53 Atmosph.
— 68,8°	2,28 "	— 30°	10,66 "
— 63,8°	2,90 "	— 20,5°	13,88 "
— 60,5°	3,37 "	— 17,8°	15,04 "
— 55°	4,26 "	— 3,8°	23,08 "
— 47,2°	5,83 "	0°	26,20 "
— 41,1°	7,40 "	+ 10°	40,00 "

Die schwefelige Säure erstarrt bei $-87,2^{\circ}$ zu einer klaren farblosen Masse. Ist sie nur theilweise erstarrt, so sind die Krystalle gut ausgebildet. Die starre schwefelige Säure ist schwerer, als die flüssige, denn jene sinkt in dieser unter. Der Druck des Dampfes betrug bei

-10° 1,00 Atmosph.	$+13,3^{\circ}$ 2,42 Atmosph.
$-7,2^{\circ}$ 1,12 "	$17,7^{\circ}$ 2,76 "
-5° 1,23 "	23° 3,28 "
$-3,3^{\circ}$ 1,33 "	$32,2^{\circ}$ 4,35 "
-0° 1,53 "	$37,7^{\circ}$ 5,16 "
$+8,8^{\circ}$ 2,06 "	

Diese Resultate weichen bedeutend von denen ab, welche Bunsen erhalten hat *).

Schwefelwasserstoff erstarrt bei $-85,5^{\circ}$ zu einer weißen, durchscheinenden, krystallinischen Masse, die nicht klar und durchsichtig bleibt, sondern eine Masse verworrener Krystalle bildet. Beim Schmelzen sinken die starren Theilchen in der Flüssigkeit rasch unter, weil sie viel schwerer sind. Der Druck des Dampfes ist dann viel niedriger als eine Atmosphäre. Er beträgt bei

-70° 1,09 Atmosph.	$-31,1^{\circ}$ 3,95 Atmosph.
$-67,7^{\circ}$ 1,15 "	$-28,8^{\circ}$ 4,24 "
$-63,7^{\circ}$ 1,27 "	$-26,6^{\circ}$ 4,60 "
$-58,8^{\circ}$ 1,50 "	$-18,8^{\circ}$ 5,90 "
$-55,5^{\circ}$ 1,67 "	$-3,3^{\circ}$ 9,36 "
-50° 2,00 "	$+8,8^{\circ}$ 13,70 "
$-42,7^{\circ}$ 2,59 "	$11,1^{\circ}$ 14,60 "
-40° 2,86 "	

Stickstoffoxydul erstarrt nahe der niedrigsten Temperatur, vielleicht bei -101° zu einer klaren, farblosen krystallinischen Masse. Der Druck des hiervon aufsteigenden Dampfes war geringer als der einer Atmosphäre, so daß also das flüssige Stickstoffoxydul nicht durch eigene Verdampfung bei einer Atmosphäre erstarren kann, wie dies auch durch einen Versuch bewiesen wurde. Der Druck des Dampfes war hier zu verschiedenen Zeiten ebenso verschieden wie beim ölbildenden Gase. — Cyan erstarrt, wie schon Bunsen angegeben, zu einer durchscheinenden, krystallinischen Masse, die bei -34° flüssig wird. Das starre und flüssige Gas scheinen beinahe ein gleiches specifisches Gewicht zu besitzen. Beim Schmelzen liefert das Cyan einen Dampf, dessen Druck geringer ist als der einer Atmosphäre. Das flüssige Gas erstarrt also nicht an der Luft für sich. Der Dampf besaß zu verschiedenen Zeiten sehr abweichende Spannungen. — Ammoniak erstarrt zu einer weißen, durchscheinenden Substanz, die bei -75° schmilzt, wo dann der starre Theil schwerer ist als der flüssige. Die Spannung seines Dampfes ist hierbei sehr geringe. Sie beläuft sich bei

$-17,8^{\circ}$ auf 2,48 Atmosph.	$+9,4^{\circ}$ auf 5,83 Atmosph.
$-12,6^{\circ}$ " 3,00 "	$10,5^{\circ}$ " 6,00 "
$-7,7^{\circ}$ " 3,50 "	$15,5^{\circ}$ " 6,90 "
$-6,1^{\circ}$ " 3,72 "	$18,6^{\circ}$ " 7,50 "
0° " 4,44 "	$28,3^{\circ}$ " 10,00 "
$+5^{\circ}$ " 5,10 "	

*) Pogg. Ann. Bd. XLVI. S. 97.

Arsenwasserstoff wurde zuerst von Dumas und Soubeiran zu einer Flüssigkeit verdichtet, die aber bei der niedrigsten Temperatur nicht erstarrte. Die Dampfspannung beträgt bei

— 59,4°	0,94 Atmosph.	— 17,8°	5,21 Atmosph.
53,3°	1,26 "	16°	5,56 "
46,6°	1,73 "	12,2°	6,24 "
37,7°	2,50 "	6,6°	7,39 "
30,5°	3,32 "	0°	8,95 "
20,5°	4,74 "	+ 4,4°	10,05 "
		10°	11,56 "
		15,5°	13,19 "

Fluorkiesel verdichtet sich bei einem Druck von etwa 9 Atmosphären bei der niedrigsten Temperatur zu einer klaren, farblosen, sehr dünnflüssigen Flüssigkeit. — Phosphorwasserstoff wurde zu einer klaren, farblosen, sehr beweglichen Flüssigkeit verdichtet, die nicht in den festen Zustand übergeführt werden konnte. Indessen war nicht das gesammte Gas condensirbar, selbst nicht bei einem Druck von 25 Atmosphären. Entweder war ein anderer Phosphorwasserstoff oder reiner Wasserstoff zugegen. — Um das Fluorbor zu verdichten, mußte das Kohlenäurebad erst unter der Luftpumpe abgekühlt werden. Es verdichtete sich dann zu einer klaren, farblosen, sehr beweglichen Flüssigkeit, die auf keine Weise zum Erstarren gebracht werden konnte.

Folgende Gase konnten selbst bei den nebenstehenden Drucken nicht verändert werden:

Wasserstoff	bei 27 Atmosph.
Sauerstoff	" 27 "
Stickstoff	" 50 "
Stickstoffoxyd	" 50 "
Kohlenoxyd	" 40 "

Es ist sehr wahrscheinlich, daß diese Gase bei gewöhnlicher Temperatur niemals in den flüssigen Zustand übergeführt werden können, sondern wohl nur bei einer weit größeren Kälte, als uns bis jetzt zu erzielen möglich ist, unter Beihilfe eines ungemein großen Druckes. Weitere Versuche über die Zusammendrückbarkeit der Gase hat Aimé angestellt *). Als Compressionsmaschine wurde hier das Meer verwendet, d. h. die Gase wurden in die Tiefe des Meeres hinabgesenkt.

Aimé operirte hier mit den Gasen, die Faraday nicht hatte verdichten können. Der Druck wurde bis auf 220 Atmosphären gesteigert, doch konnte leider der Erfolg nicht zur Anschauung gebracht werden. Sauerstoff wurde bei 83 Atmosphären im Verhältniß von 90 : 1 Vol. comprimirt; Doppel-Kohlenwasserstoff bei 124 Atmosph. im Verhältniß von 356 : 1; Stickstoffoxyd bei 165 Atmosph. im Verhältniß von 251 : 1; Kohlenoxyd von 180 : 1 und Sauerstoff von 160 : 1; Fluorkieselgas bei 105 Atmosph. im Verhältniß von 350 : 1.

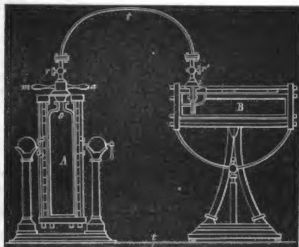
Mehrere dieser Gase wurden allerdings in einem stärkeren Verhältniß als dem darauf lastenden Drucke zusammengedrückt, doch ist damit nicht gesagt, daß sie wirklich in den flüssigen Zustand übergeführt wären. Dies kann nach Cagniard

*) Poggend. Annal. Chem. u. Phys. Bd. II. S. 244.

de la Tour und Thilorier geschehen, ohne den gasförmigen Zustand aufzugeben.

Obgleich der Erfolg bei Faraday's Versuchen seinen Wünschen nicht entsprochen hat, so giebt er doch die Hoffnung, den Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff zu condensiren, nicht auf. Vielleicht, daß es fortgesetzten Bemühungen gelingt, bei fernerer Temperaturniedrigung und einem verbesserten Druckapparat diese Gase flüssig und erstarren zu machen.

Die Mittel zu seinen interessanten Versuchen erhielt Faraday also erst durch Thilorier, dessen Verfertigung der Kohlenäure mit zu den schönsten Experimenten gehört, welche die neuere Zeit aufzuweisen hat. Bereits 1829 hatte Thilorier eine Pumpe zur Compression der Gase angefertigt, die er später wesentlich verbesserte. 1834 benachrichtigte Thilorier die Pariser Akademie, daß es ihm mittelst seines Apparates gelungen sei, in ganz kurzer Zeit nicht weniger denn einen Liter flüssige Kohlenäure anzufertigen. Der Apparat, den man hierbei anwendet, besteht der Hauptsache nach aus zwei Theilen: dem Generator A (s. untenstehende Figur), in welchem die Kohlenäure entwickelt, und dem Recipienten B, in



welchem sie verdichtet wird. Früher benutzte man zu beiden gusseiserne Cylinder, die einen innern Durchmesser von 8 bis 10^{cm} (3" bis 3" 9,88") und eine Wandstärke von 2^{cm} (9,18") hatten und 4 Liter faßten. Da die Kohlenäure bei diesen Versuchen einen bedeutenden Druck auf die Wände der Behälter, in denen sie eingeschlossen ist, entwickelt, so war die Wahl dieses Metalles keineswegs eine glückliche. Ein tief zu beklagendes Unglück ließ auch nicht lange auf sich warten. Am 30. December 1840 war Edwin Hervey, ein junger Chemiker, an der pharmaceutischen Schule zu Paris angestellt, damit beschäftigt, die Kohlenäure im Thilorier'schen Apparat zu verdichten, als der Cylinder, in welchem die Gadenwicklung vor sich ging, mit furchtbarer Behemung zerplatzte und dem Genannten

beide Beine zerschmetterte. Am 3. Januar früh endete der Tod die Leiden dieses unglücklichen Opfers der Wissenschaft *).

Seitdem hat man den Apparat fester construirt. Der Generator besteht aus einem bleiernen Cylinder, der mit Kupfer umkleidet ist und außerdem noch durch Reifen und Riegel von Schmiedeeisen zusammengehalten wird. Der Generator ist beweglich aufgehängt. Die Oeffnung O ist durch eine Schraube verschlossen, die längs der Axe durchbohrt und mit einem Hahn r versehen ist. Zur Bewegung ist die Schraube mit der doppelten Handhabe m a versehen. Der Recipient ist ähnlich construirt wie der Generator. Bei i geht eine kupferne Röhre, die außen den Hahn r' trägt, fast bis auf den Boden. Die Verbindung zwischen beiden Apparaten wird durch das kupferne Rohr t hergestellt.

Will man den Apparat in Thätigkeit setzen, so führt man durch O 1800 Gram. (3,6 Pfd.) doppelt kohlensaures Natron und $4\frac{1}{2}$ Liter Wasser von 35 bis 40° ein.



Die Schwefelsäure, 1000 Gram. (2 Pfd.), wird in das kupferne cylindrische Gefäß (i. nebenstehende Figur) gethan und letzteres aufrecht in den Generator gestellt.

Ist die Oeffnung dann verschlossen, so neigt man den Generator zur Seite, damit die Schwefelsäure ausfließen kann. Wenn dies geschehen, schwingt man den Cylinder unterschiedliche Male hin und her, damit sich die Schwefelsäure innig mit dem Wasser mischt und so recht auf das doppelt kohlensaure Natron einwirken kann. Ungefähr nach 10 Minuten öffnet man der Kohlensäure den Weg zum Recipienten und nun findet eine förmliche Destillation der Kohlensäure statt, in Folge des Temperaturunterschiedes in beiden Apparaten. In weniger als einer Minute hat sich die Kohlensäure umplacirt. Hat man die Kohlensäureentwicklung 5 oder 6 Mal wiederholt, so finden sich in dem Recipienten ungefähr 2 Liter flüssige Kohlensäure.

Wenn auch der Thilorier'sche Apparat in seiner neuen Construction viel von seiner Gefährlichkeit verloren hat, so ist ihm doch der von Natterer in Wien 1844 angegebene bei Weitem vorzuziehen **). Bei seinen Versuchen, flüssige Kohlensäure darzustellen, bediente er sich einer Compressionsmaschine, wie man sie zum Comprimiren der atmosphärischen Luft in den Windbüchsenflaschen anwendet. Natterer hat ihr jedoch eine bequemere Einrichtung gegeben und dafür gesorgt, das interessante Experiment für das wissenschaftliche Publikum schnell allgemein zu machen. Für den Preis von 100 Gulden ist diese Compressionspumpe, die wir in Figur I. (s. folgende Seite) abbilden, von dem Mechaniker Kraft in Wien zu beziehen.

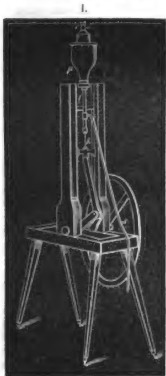
Die Kohlensäure-Entwicklung wird ganz gesondert auf jede beliebige Weise vorgenommen; selbstverständlich muß man auf dem Wege bis zur Pumpe ein oder mehrere Chlorcalciumröhren einschalten, um das Gas vollständig zu trocknen. Die Verbindung mit dem Kohlensäure-Entwicklungsapparat wird durch ein Kautschukrohr hergestellt. Die Kohlensäure gelangt so in das Rohr l. Das Einpumpen des Gases in die eiserne Flasche r, die auf l aufgeschraubt ist, wird durch das Schwungrad sehr erleichtert. Die Kolbenstange k ist unten an einem Querstück von Messing

*) Journ. de Pharm. T. XXVII. pag. 41.

**) Poggend. Annal. Bd. LXII. S. 132.

befestigt; dasselbe wird zur Sicherung der vertikalen Bewegung durch Coulissen geführt, die zu beiden Seiten des Gestelles angebracht sind.

Bevor man den Versuch anfängt, bestimmt man das Gewicht des eisernen Recipienten. Hat er seine Stelle an dem Apparat eingenommen, so pumpt man durch 20 bis 30 Umdrehungen Kohlenäure hinein, die man mit der in dem Re-



ipienten enthaltenen Luft durch n (i. nebenstehende Figur II.) entweichen läßt. Hat man darauf den Hahn geschlossen, so beginnt das eigentliche Comprimiren. Um die Condensation zu erleichtern, füllt man das kupferne Gefäß p, welches den Recipienten umgiebt, mit Eis oder Schnee. Von Zeit zu Zeit erforscht man das Gewicht der Flasche, bis die Gewichtszunahme sich auf 450 Gram. beläuft. Dann wird der Versuch unterbrochen und der Recipient ist bis zu $\frac{2}{3}$ mit flüssiger Kohlenäure gefüllt. Geschieht es hier nicht die geringste; der Recipient ist auf einen Druck von 200 Atmosphären geprüft, während die Kohlenäure in ihm selbst bei einer Temperatur

von 30° nur einen Druck von 73 und bei 0° gar nur von 30 Atmosphären ausübt. Bei 20° beläuft sich der Druck zwischen 50 bis 60, bei — 20° dagegen nur noch auf 26 Atmosphären.

In Fig. II. geben wir einen Durchschnitt des Recipienten in einem Fünftel der Größe. Der Aufsatz g ist in der Mitte durchbohrt und eben so der Messingansatz v, der in eine feine Spitze endet. Durch die Schraube i kann man diesen Ausgang verschließen. Unten, wo die Flasche, die übrigens ganz dem Windbüchsenkolben entspricht, auf l aufgeschraubt ist, befindet sich ein Ventil, welches sich nach innen öffnet, also der Kohlenäure zwar den Eintritt gestattet, aber den Ausgang verwehrt und zwar um so mehr, je stärker jene drückt.

Thilorier hat die Eigenschaften der flüssigen und starren Kohlenäure genauer untersucht *). Erstere besitzt die merkwürdige Eigenschaft, daß sie durch die Wärme stärker ausgedehnt wird, als im gasförmigen Zustande. Bei + 30° beträgt die Zunahme des Volumens beinahe die Hälfte von dem, welches die flüssige

*) Pogg. Ann. Bd. XXXVI. S. 142.

Kohlensäure bei 0° einnimmt. Ihre Ausdehnbarkeit ist überhaupt 4 Mal größer, als die der Luft; während sich diese bei einer Temperatur von 0° bis $+30^{\circ}$ um 0,109 ihres Volumens ausdehnt, dehnt sich jene um 0,423 ihres Volumens aus. Daher ist das spec. Gew. der flüssigen Kohlensäure bei verschiedenen Temperaturen sehr ungleich; bei $-20^{\circ} = 0,90$

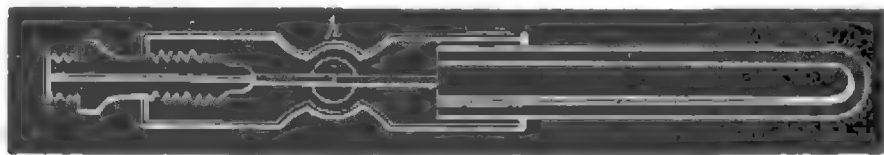
$$0^{\circ} = 0,83 \text{ und}$$

$$+30^{\circ} = 0,60.$$

Erhöht man die Temperatur einer Röhre, die eine Schicht flüssiger Kohlensäure erhält, so geräth diese ins Sieden und der Raum über ihr wird mit Dampf erfüllt, und zwar mit einer desto größeren Menge, je höher die Temperatur ist. Die Menge der Flüssigkeit von 0° , welche bei $+30^{\circ}$ einen Raum mit Dampf füllt, beträgt ein Drittel und bei 0° ein Zwölftel desselben. Für jeden Centesimalgrad steigt der Dampfdruck um eine Atmosphäre. Die flüssige Kohlensäure mischt sich mit Wasser und fetten Oelen nicht; in Alkohol, Aether, Steinöl, Schwefelkohlenstoff ist sie indessen in allen Verhältnissen löslich. Blei, Zinn, Eisen und Kupfer greift sie nicht an.

Richtet man einen Strahl flüssiger Kohlensäure aus der Spitze des Recipienten auf ein Alkohol-Thermometer, so sinkt dasselbe rasch auf -90° . Diese Kälte ist zwar ungeheuer, doch ist ihre Wirkung gewissermaßen nur auf den Berührungspunkt beschränkt. Quecksilber kann man auf diese Art nur in kleinen Mengen zum Gefrieren bringen. Hält man einen Finger in diesen Strahl, so empfindet man zwar ein sehr lebhaftes Brennen, aber dasselbe ist gleichfalls nur auf die Oberfläche beschränkt. Läßt man jedoch ein Gemisch von flüssiger Kohlensäure und Aether aus einer feinen Oeffnung ausströmen, so ist die Wirkung weit beträchtlicher. In wenigen Secunden gefrieren 50 Grm. (3,42 Lth.) Quecksilber. Hält man einen Finger in diesen Strahl, der, wie Philoxier sagt, einem „véritable chalumeau de froid“ entströmt, so ist die Empfindung durchaus unerträglich.

Da der Recipient undurchsichtig ist, so bekommt man die flüssige Kohlensäure nicht zu Gesichte, denn beim Ausströmen verdampft sie sofort und hierbei entsteht eine so bedeutende Kälte, daß ein Theil der Kohlensäure fest wird. Es bilden sich schneeähnliche Flecken und der Strahl der ausströmenden Kohlensäure erhält dadurch ein ganz milchiges Aussehen. Will man daher die verdichtete Kohlensäure im tropfbar flüssigen Zustande zeigen, so muß man sie in eine enge, dickwandige Glasröhre einschließen. Man versteht daher eine solche (s. beistehende Figur) mit einer Messingfassung, die mit einem Hahn h versehen ist und an die Ausgangsspitze n angeschraubt werden kann. Sodann kehrt man die Flasche



um, so daß t nach unten kommt, öffnet dann die beiden Hähne t und h und läßt die Kohlensäure einströmen. Die Aufbewahrung solcher mit flüssiger Kohlensäure gefüllten Glasröhren erfordert große Vorsicht.

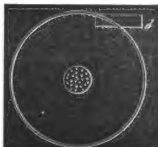
Will man sich die feste Kohlensäure in größeren Mengen verschaffen, so be-

dient man sich dazu eines kleinen Apparates aus Messingblech (s. beisteh. Fig. I.). Zwei kurze Cylinder von Messingblech AB und CD, welche auf der einen Seite

I.



II.



durch einen gewölbten Boden verschlossen sind, werden fest zusammengesteckt, so daß sie einen geschlossenen Raum bilden. Durch die Röhre *a* führt man die Spitze *n* in das Innere dieses Raumes ein und läßt die Kohlenäure einströmen, wobei man natürlich die Flasche umgekehrt hält. Die Handhaben des messingenen Beckens sind hohl, so daß durch die Löcher in den beiden Böden (s. Fig. II.) die

verdampfende Kohlenäure ungehindert entweichen kann, während sich die feste Kohlenäure, die dem Schnee sehr ähnlich ist, in dem Becken ansammelt. Die hierbei auftretende Kälte schätzt man auf -100° . Tröpfelt man Aether darauf, so strigert sich die Kälte bedeutend. Auf diese Art kann man bedeutende Mengen Quecksilber augenblicklich zum Gefrieren bringen. Die feste Kohlenäure hält sich kurze Zeit an freier Luft; sie verschwindet unmerklich durch langsame Verdunstung. Berührt man ein Stüchchen derselben, so gleitet es auf einer glatten Fläche schnell fort, gleich wie wenn es gehoben würde durch die Gasatmosphäre, mit welcher es bis zu seinem gänzlichen Verschwinden beständig umgeben ist. Drückt man die feste Kohlenäure fest zwischen den Fingern, so empfindet man ein schmerzhaftes Gefühl. Gegen einen glühenden Draht verhält sich die feste Kohlenäure wie das Wasser bei dem bekannten Leidenfrost'schen Versuch. Der Draht glüht nämlich noch einige Secunden lang fort und kühlt sich nur langsam ab.

Rattener hat mit seinem Apparate auch das Stickstoffoxydul verdichtet, wozu ein Druck von 50 Atmosphären erforderlich ist. Im festen Zustande erhielt er dieses Gas nur in geringer Menge, da das Reiste mit Gewalt aus dem Gefäß herausgetrieben wurde. Einige Tropfen, die auf den Tisch fielen, zeigten die wallende Bewegung des Siedens und erstarrten dann. Dagegen gelang es ihm, bei einer sehr engen Ausflußöffnung, ein kleines Trinkglas voll in tropfbar flüssigem Zustande an freier Luft zu erhalten und diese erhielt sich weit länger als die

festen Kohlensäure. Sie bot unstreitig die niedrigste Kälte dar, die man bis jetzt kennt. Ein Thermometer, darin eingetaucht, fiel auf -105° , welche Temperatur wohl den Siedepunkt der Flüssigkeit ausmacht. Aus der Flüssigkeit entfernt, sank das Thermometer auf -115° , indem es sich mit einer Kruste von festem Stickstoffoxydul belegte. Alkohol von 0,84 spec. Gew. wurde ganz zähe darin und von 0,797 spec. Gew. bedeutend dickflüssig. Schwefelkohlenstoff und Phosphorchlorür veränderten sich nicht; Kalium wirkt darauf nicht ein. Beim Eintauchen eines jeden Körpers beobachtet man ein Zischen, wie beim Eintauchen eines glühenden Körpers in Wasser.

Von dem darin suspendirten, festen Stickstoffoxydul hat die Flüssigkeit ein milchiges Aussehen. Das spec. Gewicht liegt nahe bei 1,5. Auf ein Filter gegossen erstarrt die Flüssigkeit zu einer weißen, nicht porösen, festen Masse.

Ratterer nahm sich vor, die Comprimirung bis zu einem Drucke von 2000 Atmosphären zu steigern und mit allen Gasarten Versuche zu machen. Hierbei wurde er von der Wiener Akademie bereitwilligst mit Geldmitteln unterstützt. Hierbei ließ er die Compressionsmaschine so einrichten, daß das Gas bereits mit einer Spannung von 10 bis 15 Atmosphären in den Pumpenstiefel gelangte *). Das Gas wurde nämlich vorher mittelst einer Pumpe, wie man sie zur Comprimirung des Leuchtgases und des Sauerstoff- und Wasserstoffgases beim Drummond'schen Licht benutzt, in einem 2 bis 3 Cubikfuß fassenden schmiedeeisernen Gefäß verdichtet, aus welchem es mittelst einer dickwandigen Bleiröhre in den Pumpenstiefel gelangte. Allein bei einem Druck von 500 Atmosphären war eine Dichte des Ventiles nicht mehr zu erzielen. Dadurch wurde Ratterer bereits 1844 genöthigt seine Versuche einzustellen.

Von Dr. L. Redtenbacher unterstützt, nahm er dieselben 1855 wieder auf und nun gelangte man dahin, einen Druck von 1000 Atmosphären zur Anwendung bringen zu können. Bei diesem Druck, der gleich ist 361,000 Pfd. auf die innere Fläche des Recipienten, wurde indessen die Elasticitätsgrenze des Eisens überschritten und dann zeigte sich auch in dem Eisen ein mehrere Zoll langer Riß von $\frac{1}{2}$ '' Breite. Hierdurch wurde die Behauptung Liebig's in seinen chemischen Briefen, daß wegen der großen Gefahren die künftige Generation diese merkwürdigen Versuche nicht mehr zu sehen bekommen werde, thatsächlich widerlegt.

Die Ergebnisse dieser Versuche waren nur negative. Atmosphärische Luft widerstand dem Drucke von nahe 1000 Atmosphären. Das spec. Gewicht derselben mußte hierbei so zugenommen haben, daß Wasser, wäre es vollkommen zusammendrückbar, darauf hätte schwimmen müssen. Leuchtgas zeigte bei 800 Atmosphären kein Flüssigwerden; in einen Raum von 5,5 Cubikzoll wurden 4380 Cubikzoll Gas gepreßt. Kohlenoxydgas zeigte bei 400 Atmosphären eben so wenig eine Veränderung. Hierbei machte Ratterer auch die nicht unwichtige Bemerkung, daß flüssige Kohlensäure und flüssiges Stickstoffoxydul in einem weit größeren Verhältniß zusammendrückbar sind, als alle übrigen bekannten Flüssigkeiten, während Thilorier gefunden haben wollte, daß flüssige Kohlensäure sich fast gar nicht zusammendrücken lasse. Bei 130 Atmosphären wurde flüssige Kohlensäure um $\frac{1}{8}$, flüssiges Stickstoffoxydul um $\frac{1}{15}$, Aether um $\frac{1}{140}$ und Schwefel-

*) Sitzungsber. d. Wiener Akad. Math. naturw. Kl. Bd. V. S. 353.

Kohlenstoff um $\frac{1}{160}$ zusammengedrückt. Man kann daher in den eisernen Recipienten auch dann noch Kohlensäure hineinpumpen, selbst wenn derselbe mit flüssiger Kohlensäure bereits ganz angefüllt ist.

Außer dem Schwachhaftwerden des Recipienten zeigte sich bei diesen Versuchen auch, daß der Pumpenstiefel von 4''' Durchmesser zu groß war, um die Gase einer größeren Verdichtung aussetzen zu können. Eine neue Maschine mit einem Stiefel von nur 2''' Durchmesser und einem Recipienten von Stahl *), erlaubte die Anwendung von 4000 Atmosphären. Bei diesen Versuchen zeigte sich, daß das Mariotte'sche Gesetz bei diesem sehr hohen Drucke nicht mehr gilt. Die Gase verdichteten sich in einem weit geringeren Verhältniß zur angewandten Kraft; bei gleichen Kräften war jedoch die Dichte der einzelnen Gase ganz verschieden. Bei einem Drucke von 3600 Atmosphären waren von Stickstoff 710, Kohlenoxydgas 730, atmosphärischer Luft 800, Leuchtgas 850 und Wasserstoffgas 1040 Volumina in den Recipienten gepreßt. Stickgas ist daher am wenigsten und Wasserstoffgas am meisten zusammendrückbar.

Bei der Verdichtung des Sauerstoffgases hätte vielleicht die furchtbare Zerkümmernng des Apparates herbeigeführt werden können. Als bereits 600 Volumina in den Recipienten gepreßt worden waren, hörte man beim Öffnen des Ventils plötzlich ein Knachen im Recipienten und das Ventil war zum ferneren Verschuß völlig unbrauchbar. Bei näherer Besichtigung zeigte sich, daß die Lederscheibe sich entzündet hatte und die stählerne Ventilstange durch beginnende Oxydation blau angeläufen war. Wäre die Erhitzung nur bis zum schwachen Rothglühen gestiegen, so hätte der Stahl in dem verdichteten Sauerstoffgase ungemein bestig verbrennen müssen und der Recipient durch die ungleiche Temperatur und die plötzliche Expansion des Gases zertrümmert werden können.

Da die angeführten Gase selbst bei diesem ungeheuren Druck auch nicht einmal ein beginnendes Flüssigwerden zeigten, so brachte Ratterer auch das zweite mächtige Agens, die ungeheure Kälte eines Gemisches von Aether und fester Kohlensäure in Anwendung, ohne indessen günstigere Erfolge zu erzielen.

Aus Ratterer's Versuchen läßt sich also mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit schließen, daß durch bloße Anwendung von mechanischen Kräften es wohl nie gelingen werde, den Aggregatzustand der zuletzt aufgeführten Gase zu ändern, zumal, da sich der Anwendung eines noch stärkeren Druckes sehr bedeutende Hindernisse bei dem Apparate selbst in den Weg stellen. So hatte sich z. B. die stählerne Kolbenstange durch den Druck auf ihre vordere Fläche um 1''' verkürzt und bei 4000 Atmosphären vergrößerte sich der äußere Durchmesser des stählernen Recipienten um $\frac{1}{160}$. Hier setzte auch die Lederkappe der Verdichtung eine Grenze; sie fing an Gas entweichen zu lassen.

Da der Apparat einmal vorhanden war, hat Ratterer noch eine dritte Versuchsreihe angestellt **), um die Abweichungen des Mariotte'schen Gesetzes näher zu erforschen. Wenn man bei den Gasen, die unter einem Druck von 2790 Atmosphären stehen, 10 Raumtheile aus dem Recipienten entweichen läßt, so wird der Druck in denselben nicht um 10 Atmosphären geringer, sondern in einem weit

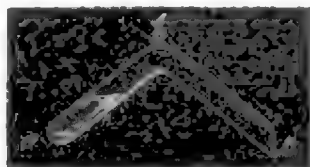
*) Sitzungsher. d. Wiener Akad. Math. naturw. Kl. Bd. VI. S. 337.

**) Sitzungsher. d. Wien. Akad. Math. naturw. Kl. Bd. XII. S. 199. Pogg. Ann. Bd. XCIV. S. 436.

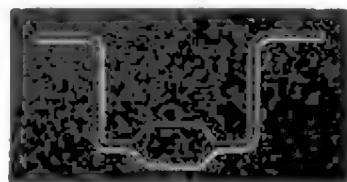
größeren und bei den einzelnen Gasen sehr verschiedenen Verhältniß; beim Wasserstoff um 101, bei Stickgas um 136, bei atmosphärischer Luft um 131 und bei Kohlenoxydgas um 163 Atmosphären. Die Abweichung von dem Mariotteschen Gesetz trat ein für Wasserstoff bei 89, für Sauerstoff bei 188, für Stickgas bei 96, für atmosphärische Luft bei 107, und für Kohlenoxydgas bei 138 Atmosphären. Ausführliche Tabellen zeigen das Verhalten bei jedem weiteren Entweichen von 10 Raumtheilen des Gases.

Wie bereits im Eingange angeführt, läßt sich die Verdichtung der Gase zu Flüssigkeiten auf einfache Weise bewerkstelligen. Man braucht sie nur in einer gebogenen, sehr starken und vollkommen verschlossenen Glasröhre zu entwickeln, wo sie sich dann durch ihren eigenen Druck condensiren. Beim Ammoniak, das bei gewöhnlicher Temperatur einen Druck von $6\frac{1}{2}$ Atmosphäre erfordert, um flüßig zu werden, verfährt man auf folgende Weise. Man führt über Chlor Silber bei gewöhnlicher Temperatur einen Strom von trockenem Ammoniakgas, von welchem jenes eine große Menge in sich aufnimmt. Das mit Ammoniakgas gesättigte Chlor Silber füllt man in den Schenkel a b der gekrümmten Glasröhre (s. beistehende Fig. I.) und schmilzt dann die Öffnung bei c zu. Will man das Ammoniakgas verdichten, so setzt man den Schenkel a b in ein Wasserbad und erwärmt dieselb allmählig; bei 38° giebt das Chlor Silber das Ammoniakgas vollständig ab. Letzteres sammelt sich in dem Schenkel b c an und wenn man diesen mit einer Kältemischung umgiebt, so verdichtet es sich leicht zu einer farblosen, leicht beweglichen Flüssigkeit, deren spec. Gew. sich auf 0,76 beläuft. Wenn man den Schenkel b c aus dem Kältebade herausnimmt und das Chlorquecksilber erkalten läßt, so nimmt es das Ammoniakgas wieder in sich auf und die Flüssigkeit verschwindet nach und nach, so daß also diese eine Glasröhre stets dazu dienen kann, das Ammoniakgas immer wieder von Neuem flüßig zu machen.

I.



II.



Will man Cyangas im flüssigen Zustande darstellen, so erhitzt man Cyanquecksilber in einer eben solchen Glasröhre, deren anderen Schenkel man in kaltes Wasser taucht. Zur Darstellung von flüssigem Schwefelwasserstoffgas füllt man die Röhre bis zu einem Drittel mit Doppelschwefelwasserstoff (HS^2), einer gelblichen öllartigen Flüssigkeit. Diese zerfällt von selbst; der überschüssige Schwefel scheidet sich, sobald etwas Wasser zugegen ist, nach und nach in schönen, durchsichtigen Krystallen aus und Schwefelwasserstoffgas verdichtet sich zu einer klaren wasserhellen Flüssigkeit, die über den Schwefelkrystallen steht.

Andere Gase kann man wiederum sehr leicht in offenen Röhren verdichten, sobald man diese in eine Kältemischung stellt. Der hierbei allgemein gebräuchliche Apparat ist in beistehender Fig. II. abgebildet; schmilzt man die beiden Schenkel zu, so kann das flüssige Gas darin auch aufbewahrt werden. Das Cyangas wird schon bei einer Temperatur von -25° bis 30° flüßig; einige Grade darunter gefriert es zu einer eisähnlichen Masse mit strahligem Gefüge. Der Kochpunkt

liegt nach *Bunsen* *) bei $-20,7^{\circ}$; der der schwefligen Säure bei $-10,5^{\circ}$. Das Ammoniakgas läßt sich leicht durch ein vorgängig bis auf -10° abgekühltes Gemenge von krystallisiertem Chlorcalcium und Schnee verdichten. Um jedoch eine völlig wasserfreie Flüssigkeit zu erhalten, muß das Gas vorher ein sehr langes, mit Kalihydrat gefülltes Rohr passieren. Der Kochpunkt liegt bei $-33,7^{\circ}$. Chlornasserstoff, Jodwasserstoff, Bromwasserstoff, Phosphorwasserstoff konnte *Bunsen* jedoch bei alleiniger Anwendung künstlicher Kälte nicht condensiren. Selbst wenn er diese Gase bis auf -50° und darunter abkühlte, erfolgte keine Verdichtung. W. B.

Verdunstung und Verdampfung. Beide unterscheiden sich in der Art, daß bei ersterer die Dampfbildung nur von der Oberfläche aus stattfindet, während sich bei letzterer auch im Innern der Flüssigkeit Dämpfe bilden. Gemeinlich aber nimmt man es mit dieser Unterscheidung nicht sehr streng und nennt z. B. die Verdunstung einer Flüssigkeit Verdampfung, sobald man hierbei künstliche Wärme in Anwendung bringt, wie man auch sehr häufig die Verdunstung freiwillige Verdampfung nennt, da bei sehr vielen Flüssigkeiten die Umwandlung in den luftförmigen Zustand bereits bei gewöhnlicher Temperatur vor sich geht. Beim Stehen an der Luft vermindert sich die Menge derselben allmählig, weil unaufhörlich und unbemerkt ein Theil derselben als Dampf in die Luft aufsteigt. Man sagt von solchen Flüssigkeiten, die man, wenn der Verlust in geringer Zeit ein sehr beträchtlicher ist, flüchtige nennt, — sie verdunsten oder sie trocknen ein. Im Allgemeinen findet die Verdunstung der Flüssigkeiten an der Luft um so rascher statt, je niedriger der Siedepunkt derselben liegt. Z. B. verdunstet Weingeist rascher als Wasser und jener wird wieder vom Aether übertroffen, dem es andere Flüssigkeiten noch zuvorzuthun. Auch an festen Körpern nimmt man ein Verdunsten wahr. Ein kleines Stück Eis verschwindet selbst im Winter allmählig an der Luft; es wird von dieser aufgezehrt. Ein Gleiches findet auch z. B. beim Moschus, dem Campher u. s. w. statt, denn auf der Verdunstung beruht überhaupt der Geruch der Körper. Dieses Bestreben in Dampf überzugehen, muß um so mehr auffallen, als doch eine mächtige Cohäsion die Theilchen selbst der Flüssigkeiten zusammenhält. Der Gegensatz dieser beiden Eigenschaften führte zu der Annahme **), daß die Oberflächen, welche die flüchtigen Körper begrenzen, eine besondere Eigenschaft besitzen, vermöge welcher die Theilchen dieser Flächen ein Streben erlangen, aus dem starren oder flüssigen Zustand in den gasförmigen überzugehen, obwohl die Theilchen im Inneren des Körpers einer starken Molekular-Anziehung unterworfen bleiben.

Ob der Verdunstung durch Erniedrigung der Temperatur eine Grenze gesetzt werden kann oder nicht, ist bereits in dem Art. Dampf und Atmosphäre erörtert worden. Eine Beschleunigung der Verdunstung wird erzielt durch Vergrößerung der Oberfläche und durch Erhöhung der Temperatur. Mit der ersteren Bedingung steht die Beobachtung von *Magnus* ***), daß Wasser in Röhren von engerem Querschnitt schneller verdunstet als in solchen von weiterem Durchmesser, nur scheinbar in Widerspruch. In den Röhren zieht sich nämlich die Flüssigkeit, in Folge der capillaren Attraction des Glases, an den Wandungen sehr stark in die

*) *Pogg. Ann.* Bd. XLVI. S. 102.

**) *Poggend. Annal.* Bd. LXVII. S. 588.

***) *Poggend. Annal.* Bd. XXVI. S. 763.

Höhe und dadurch eben wird eine relativ viel größere Oberfläche zur Verdunstung dargeboten als in den weiten Röhren. Wahrscheinlich steht das schnelle Verdunsten aus capillaren Röhren mit einigen technischen Erfahrungen in Beziehung; z. B. mit der bedeutenden Abkühlung der Flüssigkeiten in den sogenannten Alcarazas. — Das Bestreben der Flüssigkeiten, in Dampf überzugehen, äußert sich ganz besonders im Vacuum. Hieraus folgt, daß die Verdunstung an der Luft um so langsamer vor sich geht, je schwerer diese ist; und noch mehr wird sie beeinträchtigt, wenn die Luft bereits mit den Dämpfen stark angefüllt ist. Je schneller also die Dämpfe durch den Luftwechsel fortgeführt werden, um so rascher findet die Verdunstung statt. Die Dämpfe mischen sich nämlich mit der Luft, wie dies bei zwei Gasarten stattfindet. Natürlich bilden hierbei die Moleküle des einen ein mechanisches Hinderniß für die Verbreitung des andern. Hieraus folgen die eben angeführten Umstände. Die Schnelligkeit der Verdunstung hängt also ab von der Differenz zwischen dem Maximum der Spannkraft, welche dem Dampfe bei der herrschenden Temperatur zukommt, und der Spannkraft der Dünste, welche bereits in der Luft enthalten sind. Nach Dalton steht die Menge der Flüssigkeit, welche in einer bestimmten Zeit verdunstet, mit diesem Verhältniß genau im Zusammenhange. Ist daher die Oberfläche gleich groß, so verdunstet z. B. bei einer Temperatur von 11° eben soviel Wasser, wenn die Luft vollkommen trocken ist, als bei einer Temperatur von 30° , wenn die Luft bereits Wasserdampf von 20^{mm} Spannkraft enthält.

Um die Leichtigkeit, mit der Flüssigkeiten in einem Raume, der dem Luftdruck nicht ausgesetzt ist, verdunsten, anschaulich zu machen, hat man den sogenannten Wasserkammer (s. diesen Art.) construirt. Dadurch, daß die Verdunstung im luftleeren Raume schneller vor sich geht, als an der Luft, wird die früher gebräuchliche Annahme, daß das Wasser oder andere Flüssigkeiten durch die Luft aufgelöst werden, ähnlich wie die Salze durch Wasser, hinreichend widerlegt. Ähnliche Versuche stellte schon Lavoisier an *) und wurde der hierbei gebräuchliche Apparat durch van Noöen verbessert **).

Die Natur der Luftarten äußert übrigens keinen Einfluß auf die Verdunstung der Flüssigkeiten, sobald nur die Umstände, also der Druck, die Temperatur u. s. w. gleich sind. Mag die Verdunstung in einer Atmosphäre von Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Kohlensäure oder an der Luft selbst vor sich gehen, die Menge der entweichenden Dämpfe bleibt sich bei den einzelnen Flüssigkeiten, sobald sich die Bedingungen, unter denen die Verdunstung stattfindet, nicht ändern, gleich. Das ist schon in früherer Zeit durch Volta, Saussure, Dalton, de Luc und Clement und Desormes nachgewiesen.

Die Verdunstung findet sogar durch thierische Häute und durch Kautschuk statt. Darauf machte zuerst Sommering aufmerksam ***), der Weingeist in eine Flasche einschoß. Obgleich sich die Menge desselben verminderte, wurde die Stärke dennoch eine größere; ein Beweis, daß hier besonders Wasser verdunstet. Dieser Vorgang war im gewöhnlichen Leben interß lange bekannt. Schon die Alten bewahrten ihren Wein in Schläuchen aus thierischen Häuten auf und noch jetzt finden wir diesen Gebrauch in südlichen Gegenden, auf den griechischen Inseln, in Spanien

*) *Traité de Chimie*. T. I. p. 9.

**) *Wilb. Ann.* Bd. I. S. 143.

***) *Wilb. Ann.* Bd. LXI. S. 104.

und Portugal. Der Wein verbessert sich hierbei wesentlich. Ebenso verschließen die Italiener die Flaschen, in denen sie die leichteren Weine aufbewahren, nicht mit Korken, sondern verbinden jene nur mit Blase, um die Verdunstung des Wassers zu erleichtern, also den Wein stärker und dauerhafter zu machen. Dagegen fand Sommerling, daß eine mattgeschliffene Glasplatte, welche auf dem gleichfalls mattgeschliffenen Rande des Glases genau anschließt, die Verdunstung gänzlich verhindert. Er bewahrte so fünf Jahre hindurch Weingeist auf, der sich in der Stärke durchaus nicht veränderte. Selbst durch die Tauben des Kasses hindurch findet eine ziemlich starke Verdunstung statt, weshalb z. B. der Wein stets nachgefüllt werden muß.

In der Natur spielt die Verdunstung des Wassers, die unaufhörlich an der Oberfläche des Meeres, der Seen und Flüsse, sowie auch von dem feuchten Boden und den Pflanzen aus vor sich geht, eine große Rolle. Darauf beruht die ewige Bewegung des Wassers. Die in die Luft aufsteigenden Dünste desselben fallen als Regen, Thau, Reif u. s. w. wieder auf die Erde nieder, dringen dann als Wasser bis zu einer gewissen Tiefe in dieselbe ein und kommen wieder als Quellen zum Vorschein, um wiederum in den Kreislauf einzutreten. Warum das Wasser rasch verdunstet, z. B. nach einem Regen der Erdboden bald wieder trocken wird, wenn ein trockner Wind heftig weht, ergibt sich aus dem Vorstehenden.

Der Uebergang aus dem flüssigen in den luftförmigen Zustand wird nur durch die Wärme vermittelt; da aber bei der Verdunstung solche nicht künstlich zugeführt wird, so muß die Flüssigkeit die zur Dampfbildung nöthige Wärme der nächsten Umgebung entziehen. Da die Wärme bei diesem Vorgange gebunden wird, also für das Gefühl oder das Thermometer verschwindet, so muß bei der Verdunstung stets eine Erzeugung von Kälte auftreten und zwar um so mehr, je rascher die Flüssigkeit verdunstet. Wir können dies sehr leicht an uns selbst erfahren, wenn wir auf die Hand, den Kopf oder auf sonst einen Theil unseres Körpers einige Tropfen einer leicht verdunstenden Flüssigkeit, wie z. B. Alkohol, oder noch besser Aether, gießen. Das Gefühl der Kälte macht sich sogleich bemerkbar. Umwickeln wir die Kugel eines Thermometers mit Baumwolle und benetzen wir diese mit Aether, so sinkt das Quecksilber in jenem leicht bis unter den Gefrierpunkt, sobald wir durch Hin- und Herschwenken des Thermometers die Verdunstung beschleunigen.

Viele Vorgänge und Wahrnehmungen im gewöhnlichen Leben sind hierin begründet. Bei unseren Wanderungen in der Natur suchen wir die Richtung des Windes dadurch zu erforschen, daß wir einen benetzten Finger in die Luft halten. An der Stelle, die dem Winde ausgesetzt ist, findet eine beschleunigte Verdunstung statt und in Folge dessen macht sich hier ein Gefühl der Kälte bemerklich. Oder wir treten an heißen Tagen in eine Zugluft, so fühlen wir sogleich eine erfrischende Kühle, nicht etwa deshalb, weil uns der Zug kalte Luft zuführt, sondern weil er eine lebhaftere Verdunstung auf der Haut hervorruft. Befinden wir uns dagegen in einer mit Feuchtigkeit gesättigten Atmosphäre, in der keine Verdunstung stattfinden kann, so empfinden wir das Gefühl einer drückenden Schwüle, selbst wenn das Thermometer keine übergroße Wärme anzeigt. Das Gefühl der Kälte, das wir empfinden, sobald wir aus einem Bade kommen oder uns gewaschen haben oder beim Anlegen neuer Wäsche hat ebenso seinen Grund in der beschleunigten Verdampfung, die auf der Oberfläche unseres Körpers hervorgerufen wird. Wie be-

kannt besitzt das Blut der warmblütigen Thiere eine bestimmte Temperatur, die bei den geringsten Schwankungen sofort den Tod zur Folge hat. Die reichlichen Ausdünstungen, die stets an der Oberfläche der lebenden Wesen vor sich gehen, verhindern aber durch die damit verbundene Abkühlung die Veränderung der Temperatur des Blutes. Die Abkühlung der Luft nach einem Regen hat gleichfalls ihren Grund in der Verdunstung des Wassers. Im heißen Sommer ahmen wir dies nach. Um uns im Zimmer eine angenehme Kühlung zu verschaffen, besprengen wir den Fußboden mit Wasser. In heißen Gegenden, namentlich in Spanien, sucht man das Trinkwasser dadurch unter die Temperatur der Luft abzukühlen, daß man es in porösen Gefäßen, den sogenannten Alcarazas, aufbewahrt. Das Wasser sickert durch die Poren hindurch und verdampft dann außen. Diesen Versuch kann man auch mit den porösen Thonzellen anstellen, wie sie bei der bekannten Bunsen'schen Batterie gebräuchlich sind.

Man kann auf diese Weise eine sehr beträchtliche Kälte erzeugen. Zu diesem Zwecke dient z. B. das von Wollaston angegebene Krypophorus *), durch das



man Wasser durch seine eigene Verdunstung zum Gefrieren bringen kann. Dieser kleine Apparat wird durch die nebenstehende Figur zur Anschauung gebracht. Wir sehen hier zwei Glasugeln, die durch eine 3 Fuß lange Röhre mit einander

verbunden sind. Durch die Oeffnungen bringt man in jede Kugel etwas Wasser und treibt durch Kochen desselben alle Luft aus dem Apparat. Darauf schmilzt man die Oeffnung bei a mittelst eines Löthrohres zu, so daß also der Apparat luftdicht verschlossen ist. Läßt man dann das Wasser alles in eine Kugel laufen und taucht man die andere in eine Kältemischung (s. d. Art.), so wird durch die hier fortwährende Verdichtung der Wasserdämpfe in jener eine so rasche Verdunstung hervorgerufen, daß das Wasser gefriert. Diesen Versuch kann man so oft wiederholen, wie man will. Nach Marcet läßt sich derselbe auch in weniger als 1 Minute ohne Frostmischung bewirken, wenn man die leere Kugel mit Leinwand überzieht, diese mit Aether befeuchtet, und dann die Luft um sie her verdünnt. Die Temperatur sinkt in der andern Kugel bis auf $-6^{\circ},5\text{ C.}$, ja selbst noch um $2^{\circ},5$ bis $3^{\circ},9$ tiefer, bevor das Wasser gefriert. Der Name dieses kleinen Apparates bedeutet Eisträger und ist deshalb gewählt, weil es scheint, als ob die Kälte von der in der Frostmischung befindlichen Kugel zu der andern entfernteren hinübergetragen werde. Es findet hier also förmlich eine Destillation statt. Auf ähnliche Weise kann man, wenn man eine Retorte und Vorlage zusammenkittet und letztere mit einer Frostmischung umgibt, ziemlich beträchtliche Mengen Aether aus der Retorte in die Vorlage überführen oder auch Campher ebenso sublimiren, wie dies bei Anwendung von Wärme geschieht.

In dem Art. Eis (Vd. II. S. 613) sind bereits einige interessante Fälle der Entstehung desselben in Folge der Verdunstung mitgetheilt. Wir bemerken hierzu, daß der merkwürdige Versuch, Wasser unter der Luftpumpe zum Gefrieren zu bringen,

*) Gilbert's Annal. Bd. XLVIII. S. 174 und Bd. LII. S. 274.

zuerst 1811 von Prof. Leslie in Edinburg angestellt wurde *). Zu gleicher Zeit bemerkte er auch die starke Verdunstung des Eises bei diesem Versuch; ein Eisstück von 1 Zoll Dicke verschwand in 5 bis 6 Tagen. Diese Beobachtung brachte Leslie zu dem Versuch, Quecksilber unter der Luftpumpe zum Gefrieren zu bringen. Vorher wurde eine Thermometerkugel abwechselnd in Wasser getaucht und einem kalten Luftzuge ausgesetzt, bis sie ganz mit einer Eiskrinde bedeckt war. Sobald diese Versuche bekannt wurden, nahm Confaliali zu Pavia dieselben auf und führte sie weiter **), wobei er die Bedingungen, unter welchen Wasser und flüchtigere Flüssigkeiten die größte Verdunstungskälte hervorbringen, zu erforschen suchte. Die Eiskbildung unter der Luftpumpe gelang ihm sofort bei einer Temperatur von $16\frac{3}{4}^{\circ}\text{C.}$, sobald nur die Verdünnung der Luft bis auf $21\frac{1}{2}''$ Quecksilberhöhe getrieben worden war. Das Quecksilber brachte er auf diese Weise bei einer Temperatur der äußern Luft von $+20^{\circ}\text{C.}$ zum Gefrieren. Man thut hierbei gut, den Recipienten der Luftpumpe von außen her zu erkälten, indem man ihn mit Wasser bespritzt und einen Placibalg darauf richtet. Das Wasser, welches gefrieren soll, zu erkälten, ist gerade nicht nöthig; denn Confaliali verwandelte solches von 85°C. Wärme in Eis. Das Metallschälchen, in welchem die Verdunstung vor sich geht, muß sehr dünn sein, weil es selbst erkaltet werden muß, und dann ist darauf zu sehen, daß dasselbe z. B. mit schlechten Wärmeleitern umgeben ist, damit dem Wasser nicht von außen Wärme zugeführt wird. Das Maximum von Kälte, das er bei einer Lufttemperatur von $+22^{\circ},5\text{C.}$ durch Verdunsten allein erreichte, war $-3^{\circ},75$; mit Hilfe der Schwefelsäure indessen erzielte er bei einer Lufttemperatur von $+20^{\circ}$ eine Kälte von $-41^{\circ},25$. Je concentrirter die Schwefelsäure ist, desto stärker ist die Verdunstung und desto größer die dadurch erzeugte Kälte. Die Schwefelsäure oder jede andere hygroskopische Substanz verrichtet hier also dieselben Dienste, wie in den Dampfmaschinen das kalte Wasser des Condensators, nur ist die Ursache, durch welche die Verdichtung der Dämpfe bewirkt wird, eine verschiedene. Von allen Substanzen, welche Feuchtigkeit anziehen, äußert die Schwefelsäure diese Begierde am stärksten und zwar um so heftiger, je concentrirter sie ist. Hat sie schon längere Zeit zu diesem Zwecke gedient und ist sie dadurch zu verdünnt geworden, um noch ferner kräftig zu wirken, so kann man sie leicht durch Ausstreichen des Wassers mittelst Roden wieder brauchbar machen. Meistens verdunstet ungefähr ein Achtel des Wassers, während das Uebrige gefriert.

Confaliali stellte auch ähnliche Versuche mit Aether, Alkohol und Ammoniak an, sowohl in Bezug auf die Verdunstung allein oder mit Hilfe der Schwefelsäure oder anderer hygroskopischer Körper. Während der Schwefeläther durch Verdunsten an freier Luft die Temperatur um $32^{\circ},77\text{C.}$ erniedrigt, geschah dies unter dem Recipienten der Luftpumpe um $50^{\circ},75$ und selbst um $72^{\circ},5$. Mit Hilfe des Aethers gelingt das Gefrierenlassen des Quecksilbers besser. Bei einer Temperatur von $+25^{\circ}$ gelang dies innerhalb 15 Minuten und über 4 Minuten lang konnte das Quecksilber im festen Zustande erhalten werden. Confaliali hatte also, wie er sagt, die Winterkälte von Krasnojarsk und Katharinenburg und die mittlere Temperatur der Tropen zu gleicher Zeit vor sich.

Hierdurch wurde ein ganz neues Feld für physikalische Untersuchungen eröffnet

*) Gilbert's Annal. Bd. XLII. S. 373.

**) Ebenda S. 311.

und diese ließen mancherlei Anwendungen selbst für das praktische Leben zu. Für die Vorlesungen in der Physik z. B. genügte hinfüro eine Luftpumpe, um das Wasser in seinen verschiedenen Zuständen, fest, tropfbar-flüssig, als unsichtbaren und sichtbaren Dampf kennen zu lernen. Es ist ja ein Leichtes, in dem Recipienten der Luftpumpe Wolken, Regen, Hagel u. s. w. entstehen zu lassen und zu allen Jahreszeiten jeden beliebigen Grad von Kälte hervorzubringen. Auch die äußerst feinen Versuche über die Dichtigkeit des Wassers und die sonderbaren Erscheinungen beim Gefrieren desselben lassen sich nunmehr leicht und genau anstellen; ebenso kann das Verdunsten des Eises, die Verschiedenheit des letzteren, je nachdem das Wasser Luft enthält oder nicht u. s. w., dargestellt werden. So fand z. B. *Consiliachi* bei diesen Versuchen, daß an fast allen Thermometern der Nullpunkt um $\frac{1}{2}^{\circ}$ unter dem wahren und natürlichen Gefrierpunkt des Wassers liegt und daß die Grade unter Null fast immer die Temperatur niedriger anzeigen, als diese in Wirklichkeit ist.

Schon *Leslie* ließ sich seine Entdeckung patentiren, um von ihr einen Gebrauch in den Gewerben zu machen. Auf letztern weist auch *Consiliachi* hin. Er macht darauf aufmerksam, wie es zur Vereinfachung der Verdunstung nicht einmal der Luftpumpe bedürfe, da ja ein luftverdünnter Raum einfach durch Wasserdämpfe erzeugt werden könne und wo ein solches Abdampfen von Nutzen wäre; ferner wie hierdurch die Mittel gegeben seien, in allen heißen Ländern, wo im Winter das Wasser nicht friert, oder selbst in unserer Gegend und zu jeder Jahreszeit Eis in Menge anzufertigen und zwar zu sehr billigen Preisen. Nach der praktischen Seite hin wurde diese Frage auch von *Element* und *Desormes* beleuchtet *). — In neuester Zeit bereitet man auf diese Art in den südlichen Staaten von Nordamerika Eis in bedeutenden Mengen. Der Apparat besteht aus einem länglich viereckigen Kasten, der mit einer dicken Hülle von Kohlenpulver umgeben ist. In demselben befindet sich eine große Anzahl von gußeisernen Büchsen, welche Wasser enthalten und so auf Gitterstangen liegen, daß auf allen ihren Seiten leere Räume vorhanden sind. Mit diesem Kasten steht nun eine Luftpumpe in Verbindung, die durch eine Dampfmaschine in Bewegung gesetzt wird. Ist die Luft ausgepumpt, so läßt man längs der leeren Räume auf jeder Seite der Gefrierbüchsen einen Strom Herber hinziehen, durch dessen Verdampfung die in jeder Büchse enthaltenen 25 Pfund Wasser in festes Eis verwandelt werden. Binnen einer Stunde nach Beginn der Operation sinkt das in dem Kasten angebrachte Thermometer um 21° . Man kann selbst im heißesten Sommer eine Kälte von 9° erzielen. Bis zu 20 Ctr. Eis kann man auf einmal in diesem Apparat erzeugen und sollen sich die Herstellungskosten auf 6 Mar. belaufen.

Einen interessanten Versuch betreffs der Verdunstungskälte hat *Gay-Lussac* angegeben **). Ein an dem Ende eines Glasstabes hängender Tropfen Blausäure, die bei $+26^{\circ}$, 5 C. bereits siedet und bei -15° gefriert, erstarrt im Augenblick an der Luft oder besser noch, wenn man ihn auf Papier bringt. Das ist wohl das einzige Beispiel, daß eine Flüssigkeit durch die eigene Verdunstung unter gewöhnlichen Umständen zum Gefrieren gebracht werden kann. Weitere Untersuchungen über die Verdunstungskälte hat *Gay-Lussac* in den *Annal. de Chim. et de Phys.* T. XXI. pag. 85 mitgetheilt.

*) *Gilb. Annal.* Bd. XLIII. S. 738.

**) *Ebd.* Bd. XL.

Diejenigen Flüssigkeiten, welche am raschesten verdampfen, bringen auch die größte Kälte hervor. Sehr wirksam ist daher in dieser Beziehung der Schwefelkohlenstoff, über dessen Verhalten *Marce*t und *Verzelius* nähere Nachrichten geben *). Ueberzieht man eine Thermometerkugel mit einem Stückchen feiner Reinwand und benetzt diese mit einigen Tropfen Schwefelkohlenstoff, so sinkt das Quecksilber von $+15,75^{\circ}$ bis $-17,75^{\circ}$; wendet man statt dessen Aether oder Alkohol an, so sinkt das Thermometer im ersten Falle bis $-6,75^{\circ}$ und im zweiten bis auf $+10^{\circ}$. Unter der Luftpumpe erzielt man einen Temperaturunterschied von $+21^{\circ},25$ bis $-56^{\circ},25$ und selbst bis $-62^{\circ},5$. Um die Verdunstung des Schwefelkohlenstoffs zu befördern, müssen die Dämpfe, ebenso wie beim Aether, fortwährend durch Auspumpen entfernt werden. Quecksilber kann auch hierdurch leicht zum Gefrieren gebracht werden, jedoch greifen die Schwefelkohlenstoffdämpfe die Hähne der Luftpumpe an. Einige interessante Versuche mit Schwefelkohlenstoff hat *Murray* angegeben. Als er bei Versuchen über die Oxydation des Goldes beschäftigt war, rieb er Goldblättchen mit Speichel in einer gläsernen Reibschale; sobald er einige Tropfen Schwefelkohlenstoff hinzugeigte und fortfuhr zu reiben, erstarrte die ganze Masse zu festem Eis. Als er auf Wasser, welches in einem Glase bis auf einige Grade unter den Nullpunkt abgekühlt worden, aber nicht erstarrt war, einige Tropfen Schwefelkohlenstoff goß, bildete sich unter demselben augenblicklich eine neßförmige Hülle von Eisknadeln. Von hier aus schossen federartig gestaltete Nester durch das Wasser bis auf den Boden des Glases, so daß der gesammte Inhalt desselben zu Eis erstarrte. Während der Schwefel-Alkohol verdunstete, beobachtete *Murray* die Farben des Sonnenspectrum an den Eisknadeln. Läßt man einen einzelnen Tropfen von Schwefelkohlenstoff auf Wasser schwimmen, so äußert sich augenblicklich eine Temperaturerniedrigung; es bildet sich unter dem Tropfen ein kleines Eiskälchen. Ein ganz artiges Experiment ist es, den Tropfen Schwefelkohlenstoff durch Neigung des Glases aus diesem Eiskälchen ausfließen zu lassen. Sogleich bildet sich wieder ein neues Eiskelch für den Tropfen und das kann man viele Male mit diesem Tropfen wiederholen.

Böttger hat neuerdings auch ein Verfahren angegeben, um Wasser auch ohne Luftpumpe durch reiches Verdunsten von Schwefelkohlenstoff zum Gefrieren zu bringen. Man benetzt ein Brettchen von Lannenholz mit etwas Wasser, legt darauf ein sehr dünnwandiges Schälchen von Kupferblech, welches Schwefelkohlenstoff enthält. Befördert man die Verdunstung desselben durch einen Blasebalg, so gefriert das Schälchen auf dem Brettchen an.

Die flüssige schwefelige Säure erzeugt bei ihrer Verdunstung gleichfalls eine sehr beträchtliche Kälte. Obgleich ihr Siedepunkt bereits bei -10° C. liegt, so behält sie dennoch, selbst ohne Mitwirkung eines Druckes, doch ziemlich lange ihren flüssigen Zustand, weil der Theil, welcher sich verflüchtigt, hinreichend Wärme absorbiert, um die Temperatur des übrigen Theiles weit unter dessen Siedepunkt zu erhalten. Auf die Hand geaßten, bewirkt die schwefelige Säure durch ihre Verdunstung eine sehr empfindliche Kälte. Gießt man sie in Wasser, so sammelt sie sich in Gestalt von kleinen Tropfen auf dem Boden an. Berührt man diese mit einem Glasstabe, so verwandeln sie sich in Dampf. Die hierbei entwickelte Kälte erzeugt auf der Oberfläche des Wassers eine Eisschicht und selbst die ganze

*) *Gilb. Ann.* Bd. XLVIII. S. 167 u. 177.

Menge des Wassers kann zum Erstarren gebracht werden. Auf die bekannte Weise wird ein Thermometer von $+ 10^{\circ}$ bis auf $- 57^{\circ}$ abgekühlt und unter der Luftpumpe bis auf $- 68^{\circ}$.

Die flüssige und die feste Kohlensäure geben noch kräftigere Mittel zur Erzeugung von Kälte ab, besonders wenn man sie mit Aether betröpfelt. Die Temperatur liegt hier unter $- 90^{\circ}$ und kann daher nur durch Thermometer, die mit Weingeist oder Schwefelkohlenstoff gefüllt sind, ermittelt werden. Auf diese Weise kann man ziemlich bedeutende Mengen von Quecksilber augenblicklich zum Gefrieren bringen. Faraday gelang es, das Quecksilber sogar in einem glühenden Platintiegel erstarren zu lassen. Der Tiegel enthielt ein Gemisch von fester Kohlensäure mit Aether und in dieses stellte er ein mit Quecksilber gefülltes Metallbälchen. — Eine größere Kälte und überhaupt die niedrigste Temperatur, die man bis jetzt kennt, erzeugt man durch das verdichtete Stickstoffoxydul. In dieser Flüssigkeit sank ein Thermometer bis auf $- 105^{\circ}$ C., und herausgezogen sank es an der Luft weiter bis auf 115° , wobei es sich mit einer Kruste von festem Stickstoffoxydul überzog. Alkohol von 0,84 spec. Gew. wird in diesen Temperaturen zähe und von 0,797 spec. Gew. bedeutend dickflüssig.

Neuerdings hat Schrötter *) interessante Versuche über das Gefrieren des Wassers im luftverdünnten Raume und über die durch Verdunstung des Eises dabei erzeugte Kälte veröffentlicht. Er wandte hierbei eine eigens construirte Luftpumpe an, bei der alle Hähne vermieden waren. Statt derselben dienten zwei concentrisch drehbare, zweckmäßig durchbohrte und zusammengeschliffene Platten. Schrötter hat den Beobachtungen von Leslie und Confiliaschi nicht nur manches Neue hinzugefügt, sondern auch ein sehr wichtiges Resultat erzielt, daß man nämlich durch die Befolgung seines Verfahrens im Stande ist, mit einer verhältnißmäßig sehr geringen Menge von Eis — etwa 3 Gram., also ungefähr $\frac{3}{4}$ Quentchen für die Stunde — beliebige Körper eine längere Zeit einer Temperatur von $- 30$ bis 40° auszusetzen. Die Wichtigkeit dieses Umstandes leuchtet ein, wenn man bedenkt, daß man nun im Stande ist, das Verhalten verschiedener Körper bei so niedriger Temperatur zu untersuchen und hier Resultate zu erwarten hat, an deren Erlangung man bis jetzt gar nicht denken konnte.

Die Versuche wurden so angestellt, daß das Wasser bei der Verdunstung eine große Oberfläche hatte. Es befand sich in einem Uhrglase, welches 13 bis 14 Grm. faßte; dieses stand auf einem Dreifuß von Platindraht in einem zweiten Uhrglase, von etwa doppelter Oberfläche. Das Ganze ruhte nun endlich auf einem der gewöhnlichen Schwefelsäuregefäße. Das zweite größere Uhrglas hat einen doppelten Zweck. Einmal hält es die während der Absorption der Wasserdämpfe durch die Schwefelsäure entstehende Wärme ab, anderentheils verhindert es, daß Etwas von dem Wasser durch die während des Pumpens heftig aufsteigenden Blasen in die Schwefelsäure falle. Die Temperatur wurde bei diesen Versuchen durch kleine Thermometer bestimmt, die mit Jod gefärbtes Kohlenpulphid enthielten. Es wurde nun rasch ausgepumpt, so daß die Barometerprobe auf 4^{mm} stand. Nach 3 Minuten, die Zeit des Auspumpens mit gerechnet, waren 13 Grm. Wasser von $+ 14^{\circ}$ gefroren; die Temperatur sank dabei auf $- 1^{\circ}$, stieg aber beim Erstarren wieder auf 0° . Um eine langsamere Abkühlung zu bewirken, wurde bei

*) Sitzungsber. d. Wiener Acad. Math. naturw. Cl. Bd. X. S. 527.

den folgenden Versuchen ein etwas größerer Luftdruck angewendet. Als der Barometerstand 6^{mm} betrug, trat das Gefrieren nach 13 Minuten ein, bei 12^{mm} erst nach 35 Minuten. Es geht hieraus hervor, daß die allgemein — und zwar durch Confiliaschi verbreitete Meinung, es könne unter den gegebenen Umständen nur bei der möglichst größten Verminderung des Druckes das Wasser zum Gefrieren gebracht werden, nicht gegründet ist, da dies auch bei weit höherem Drucke eintritt, jedoch später.

Es handelte sich nun darum, die Grenze des Druckes zu bestimmen, bei welcher unter den gegebenen Umständen das Wasser nicht mehr gefriert. Es wurden die Versuche bei 36^{mm} Barometerstand begonnen, mit 11 Grm. Wasser von 17° bei einer Temperatur der äußeren Luft von 18° . Hier sank die Temperatur des Wassers auf $+4^{\circ}$, bei einem Druck von 26^{mm} auf $+1^{\circ},8$ und bei 18^{mm} auf -1° . Es ist eine bemerkenswerthe Thatsache, daß bei allen Versuchen das Wasser erst zu gefrieren anfing, nachdem es mehrere Grade unter Null, selbst bis auf -5° , abgekühlt worden war. Es zeigte sich bei allen Versuchen, daß die Temperatur um so tiefer sinken kann, ohne daß Gefrieren eintritt, je langsamer und gleichförmiger die Abkühlung vor sich geht. Es treten hierbei aber einige Uebelstände ein, die für die Beobachtung störend werden können. Da das Wasser nämlich von $+4^{\circ}$ an bis zum Gefrieren an Dichtigkeit abnimmt, so wird natürlich auch die obere Schicht, weil die weniger dichte, auch die kälteste sein. Man darf deshalb das Thermometer nicht tief in die Flüssigkeit senken, überhaupt auch nur mit dünnen Wasserschichten operiren, da der Unterschied der Temperaturen der Oberfläche und des Bodens bei einer Schicht von nur 10^{mm} Dicke mehrere Grade betragen kann. Bringt man nun aber das Thermometer nur in die oberste Schicht, so wird die Kugel, schon lange bevor die niedrigste Temperatur eintritt, in Folge der Verdunstung nicht mehr ganz vom Wasser bedeckt sein. Man hilft sich dabei so, daß man nicht gar zu flache Wasserschichten anwendet, sondern das zu benutzende Wasser in halbkugelförmige Schalen bringt und das Thermometer so tief einsenkt, daß es in der Hälfte der Höhe des Wassers steht. Hierbei verdunstet, bis die Temperatur ihren niedrigsten Stand erreicht, gerade so viel Wasser, daß die Kugel des Thermometers sich in der kältesten Schicht befindet.

Bei einem Versuch, bei dem die Temperatur des Wassers $+6^{\circ}$ betrug und der Druck 10^{mm} , sank die Temperatur des Wassers in 5 Stunden auf -12° , ohne daß das Wasser erstarrte, selbst nicht beim Schütteln. Hierbei sank die Barometerprobe um 3^{mm} in Folge der großen Abkühlung der in dem Recipienten enthaltenen Luft. Uebrigens war hier die Grenze noch nicht erreicht, bis zu welcher die Abkühlung fortgesetzt werden kann, ohne daß das Wasser erstarrt. Dalton hat solches bis auf $-14^{\circ},7$ abgekühlt, ohne daß Erstarren erfolgte. — In cylindrischen Gefäßen, deren Durchmesser nicht über 35^{mm} betrug und die bis zu einer Höhe von 20^{mm} mit Wasser gefüllt waren, trat das Gefrieren gewöhnlich schon ein, wenn das Thermometer noch nicht 0° zeigte, was aber seinen natürlichen Grund darin hat, daß das Thermometer sich in einer zu tiefen Schicht des Wassers befand, als daß es von der an der Oberfläche wirkenden Abkühlung berührt werden sollte. Die das Gefrieren begleitenden Eigenschaften sind hier bemerkenswerth. Zuerst entsteht an der Oberfläche eine 2 bis 3^{mm} dicke Schicht, die aus verworrenen Krystallen besteht und daher trübe ist. Unter dieser setzt sich eine zweite, oft, wenn nicht Luftbläschen sie trübe erscheinen lassen, vollkommen klare

Eis-schicht an, die immer dicker wird, bis sie endlich den Boden erreicht. Die untere Rinde dieser Eisschicht ist von einer spiegelnden Fläche scharf begrenzt. Auf dieser bilden sich zuweilen hohle, mit der Spitze abwärts gekehrte, gleichkantige, sechseckige Pyramiden, die sich sämmtlich in paralleler Richtung befinden. Dieser Vorgang ist mit den Beobachtungen Brewster's, Leybold's und Anderer so vollkommen im Einklange, daß Niemand mehr über die Anordnung der Eiskrystalle Zweifel hegen kann. Eine ruhig erstarrte Eis-masse besteht also aus einzelnen Krystallindividuen, die alle eine parallele Lage haben, verhalten sich daher optisch wie ein Individuum.

Die Temperatur fiel bei diesen Versuchen beim Gefrieren des Wassers schnell bis auf 0° , blieb hier eine Zeit lang stehen und fiel dann weiter, anfangs rasch, dann langsamer. Bei einem Versuch, wo die Luft bis auf 9^{mm} ausgepumpt worden, sank die Temperatur in 7 Stunden bis auf -15° . Hier blieb sie stehen, aber das Volumen des Eises verminderte sich sehr bedeutend, da es direct aus dem festen in den gasförmigen Zustand überging und dadurch so viel Wärme band, daß daraus die dauernde Temperaturerniedrigung ihre vollständige Erklärung findet.

Schon Confiliani hat durch die Verdunstung des Eises in verdünnter Luft Quecksilber zum Gefrieren gebracht, also wenigstens eine Temperatur von $-39^{\circ},44$ erzeugt. Diese Beobachtung scheint aber ganz vergessen worden zu sein, da man in den Lehrbüchern für die Verdunstung des Eises stets weit weniger schlagende Beweise angeführt findet. Schrötter stellte weitere Versuche an, um zu sehen, bis wie weit er die Temperatur werde erniedrigen können. Er umhüllte hierbei, wie es Confiliani gethan, die Thermometerkugel mit einem Schwamm und tränkte diesen mit Wasser von $+16^{\circ}$. Während der Dauer des Versuchs hielt sich die Temperatur des Zimmers auf etwa 17° . Die Luft wurde bis auf 3^{mm} ausgepumpt und in 5 Stunden 42 M. sank die Temperatur auf -34° . Hier blieb sie mehrere Stunden fast bis zur völligen Verdunstung des Eises stehen. Dabei strömte aber von Außen fortwährend Wärme zu, indem der Recipient nicht abgekühlt wurde. — Bei einem folgenden Versuch, wo die Temperatur des Zimmers $+16^{\circ}$ und der Barometerstand 4^{mm} betrug, fiel die Temperatur in 8 Stunden von $+16^{\circ}$ auf -34° , also um 50° .

Als nun statt eines Recipienten von 3 Litern Inhalt ein solcher von 7 Litern genommen wurde, zeigte sich, daß die Abkühlung regelmäßiger vor sich ging. Bei einer Lufttemperatur von $+16^{\circ}$ und einem Barometerstande von 3^{mm} , sank die Temperatur in 3 Stunden von $+14^{\circ}$ bis auf -29° , nach ferneren 3 Stunden auf -35° und nach weiteren 6 Stunden, wo nur noch wenig Eis vorhanden war, zeigte das Thermometer noch -34° . Um seine Menge zu vermehren, wurde noch ein Stück Schwamm um die Kugel gewickelt und nun sank bei einem Druck von 4^{mm} die Temperatur innerhalb $13\frac{1}{4}$ Stunde von $+13$ bis auf -36° und dann stieg sie in einer Stunde auf -29° . In einem anderen Falle erhielt sich unter ähnlichen Umständen die Temperatur des Eises während 35 Stunden zwischen -20° und -31° und stieg erst 3 Stunden nachher auf -30° , da die Menge des Eises sich schon bedeutend vermindert hatte.

Da die Umhüllung mit Schwamm die Beobachtung stört, so wurde in den weiteren Versuchen die Kugel des Thermometers direct mit Eis umgeben, d. h. überzogen. Hier ging die Abkühlung rascher und regelmäßiger vor sich. Bei

4^{te} Barometerstand war nach 15 Minuten die Temperatur von $+ 14^{\circ}$ auf $- 26^{\circ}$ und in den folgenden 10 Stunden bis auf $- 32^{\circ}$ gesunken. — Bei einem anderen Versuch, bei 3^{tem} Druck und $+ 17^{\circ}$ Lufttemperatur, sank das Thermometer in 15 Minuten von 0° auf $- 20^{\circ}$, 16 Stunden später auf $- 34^{\circ}$. Die Menge des Eises war dabei so vermindert, daß ein Theil der Kugel frei davon war, dennoch stieg die Temperatur erst nach 45 Minuten um 1° . — Bei dem nächsten Versuche wurde der Recipient mit Schnee umgeben, jedoch erst nachdem bei einer äußeren Temperatur und einem Druck von 3^{tem} das Thermometer in 55 Minuten von $- 6^{\circ}$ bis auf $- 32^{\circ}$ gefallen war. Nach weiteren 4 Stunden 30 Minuten stand das Thermometer auf $- 38^{\circ}$, während die Temperatur des Zimmers sich auf $+ 7^{\circ}$ belief. Von 9 Uhr Abends an wurde der Schnee nicht mehr erneuert, so daß er am anderen Morgen nach 13 St. 30 M. fortgeschmolzen war. Die Temperatur des Eises war nun $- 36^{\circ},7$, während das daneben aufgehängte Thermometer 0° zeigte. Der Schnee wurde erneuert und nun sank die Temperatur des Eises in 12 St. 30 M. bis auf $- 42^{\circ}$, während das freie Thermometer $- 1^{\circ},3$ zeigte, während es in den ersten anderthalb Stunden bis auf $- 2^{\circ},8$ gesunken war. Das Steigen des letzteren, also die Erwärmung der das Eis umgebenden Luft, kann nicht bestreiten, wenn man in Erwägung zieht, daß das Volumen des Cylinders sich mehr und mehr verringert, also immer weniger Einfluß auf die Abkühlung der umgebenden Luft ausüben muß.

Bei diesen Versuchen war also die Temperatur innerhalb 34 Stunden um 36° gesunken und blieb beinahe eben so lange unter $- 27^{\circ}$ stehen. Die Eismenge, welche hierbei verdunstete, betrug 22 Grm. — 42° ist die niedrigste Temperatur, die bei dieser Versuchssreihe hervorzubringen war; wahrscheinlich aber werden noch tiefere Grade zu erreichen sein. Eine größere Menge Eis würde schon, vereint mit vollkommener Verdünnung der Luft und besserer Abkühlung von außen, eine niedrigere Temperatur hervorbringen.

Wie die Verdunstung des Wassers in den Gebirgsgegenden häufig die Bildung von Eis veranlaßt, ist bereits in dem Art. Höhlen erörtert. — De la Rive *) schreibt die Entstehung der großen Gletscher, die muthmaßlich auf der gegenwärtigen Oberfläche unserer Erde vorhanden waren, der Erkaltung zu, welche nach dem Hervortreten der jüngsten Gebirgsformationen Europas, durch die Verdampfung des sie bedeckenden Wassers erzeugt wurde, — eine Erkaltung, die nach der Meinung dieses Physikers intensiver sein mußte, als das verdampfende Wasser nicht eine flüssige und ebene Oberfläche besaß, wie vor dem Heraustrreten jener Formationen, sondern gemengt war mit verschiedenen fremdartigen Stoffen, mit erdigen und sandigen, welche es schwebend erhielten oder es in ihren Poren aufnahmen. Dieser Ausspruch veranlaßte Marcet **) Versuche anzustellen, um zu erforschen, welche Umstände die Verdampfung der Flüssigkeiten, besonders die des Wassers, abzuändern vermögen. wobei er zu folgenden Resultaten gelangte: 1) Eine Flüssigkeit, in einem offenen Gefäß der Luft ausgesetzt, ist immer kälter als die umgebende Luft. Der Unterschied beider Temperaturen hängt von der der Luft ab; je höher diese ist, um so größer jener. Zwischen 45 bis 50° C. z. B.

*) Compt. rend. 1854. Octbr.

**) Pogg. Ann. Ch. Bd. IV. S. 345.

beträgt der Unterschied für Wasser 5 bis 6° C., zwischen 20 bis 25° 10,25 bis 10,5 und zwischen 5 bis 0° nur einige Zehntel-Grade. 2) Unter sonst gleichen Umständen hängt die Verdunstung einer Flüssigkeit ab von der Natur des Gefäßes, in dem sie enthalten ist. Wasser und Alkohol z. B. verdampfen aus gefirnigten Porzellangefäßen schneller als aus ganz ähnlichen Gefäßen von Glas oder Metall. 3) Ebenso ist auch die Natur des Gefäßes auf die Temperatur der Flüssigkeiten von Einfluß. Bei einer Lufttemperatur von 15 bis 18° C. ist z. B. das Wasser in einem Metallgefäße durchschnittlich um 0°,3 wärmer als in einem gefirnigten Porzellangefäß und um 0°,2 wärmer als in einem Glasgefäß. Ist die Temperatur der Luft höher, so ist der Unterschied auch hier größer. Dies scheint davon herzurühren, daß die Gefäße die Eigenschaft besitzen, je nach ihrer Natur, die Verdunstung zu beschleunigen oder zu verzögern. In jedem Fall muß nämlich die Menge der fühlbaren Wärme, welche einer flüssigen Masse entzogen wird, proportional sein der Menge des gebildeten Damps. 4) Sind die Oberflächen der Flüssigkeiten identisch und auch sonst die übrigen Umstände dieselben, so scheint die Masse oder Tiefe der Flüssigkeit, innerhalb gewisser Grenzen, auf die Verdunstung beschleunigend einzuwirken. 5) Meerwasser verdampft weniger rasch und erzeugt daher weniger Kälte als süßes Wasser. 6) Wird Wasser mit feinem Sande gemischt und zwar so, daß es diesen noch einige Millimeter hoch bedeckt, so verdampft es an offener Luft rascher als eine gleiche Wasserschicht ohne Sand. Der Unterschied schwankt, je nach der Natur des Gefäßes, zwischen 5 bis 8 Proc. Alkohol giebt ein ähnliches Resultat. Mengt man Sägespäne mit Wasser, so ist der Effect geringer. 7) Bei Gegenwart von Sand ist die Temperatur des Wassers auch stets um einige Zehntel-Grade niedriger. Auch hier ist der Unterschied abhängig von der Natur des Gefäßes, doch steigt er selten über einen halben Grad. Namentlich in den zuletzt angeführten Resultaten erblickt *Marce* eine Stütze der von *de la Rive* aufgestellten Ansicht.

Wie man die Verdunstung benutzt, um die Feuchtigkeit der Luft, also die in der Natur stattfindende Verdunstung, zu messen und zu bestimmen, ist im Art. *Hygrometer* nachzusehen und über die Anwendung der Verdunstung im praktischen Leben der Art. *Abdampfen*.

W. B.

Vergoldung. Da die galvanische Vergoldung bereits im III. Bd. S. 396 abgehandelt worden ist, so haben wir hier nur die Feuervergoldung, (franz. *dorure sur bronze*, engl. *wash or water gilding*), die kalte (franz. *dorure à froid* et zu *pouce*, engl. *gilding by the rag, cold gilding*) und nasse Vergoldung (franz. *dorure à voie humide*) zu betrachten. — Besonders Gegenstände von Silber, Kupfer und Bronze werden mit einer dünnen Schicht Gold überzogen, um ihnen ein veredeltes Ansehen zu geben. Das zu diesem Zwecke benutzte Goldamalgam wird auf folgende Weise dargestellt: Man erhitzt eine beliebige Menge Gold in einem Tiegel bis zum Rothglühen, setzt 6 bis 8 Th. Quecksilber hinzu, rührt das Ganze gut um und gießt es in kaltes Wasser aus, damit das Amalgam nicht erstarrt. Um ein festes Amalgam zu erhalten, knetet man dasselbe, so lange sich noch Quecksilber ausdrücken läßt. Soll die Vergoldung vor sich gehen, so wird der Gegenstand zuerst ausgeglüht und nach dem Abkühlen das Dryd durch sehr verdünnte Schwefelsäure und mit Hilfe der Krabbürste entfernt. Darauf taucht man denselben in Salpetersäure von 36° B. und reibt ihn mit einem Wiesel ab. Nach dieser Vorbereitung trägt man das Goldamalgam mittelst der messin-

genen Krabhbürste, die ab und zu in eine Auflösung von Quecksilber und Salpetersäure, das sogenannte Quichwasser, getaucht wird, auf. Um das hierbei entstandene salpetersaure Kupferoxyd zu entfernen, spült man den Gegenstand mit Wasser ab und nach dem Trocknen bringt man ihn in einen mit glühenden Kohlen gefüllten Ofen, um das Quecksilber zu verflüchtigen. Sobald das Silber reicher als 12-löthig ist, kann man das Amalgam direct auftragen, also die Quecksilberauflösung entbehren. Soll der Goldüberzug stärker sein, so muß das Auftragen des Goldamalgams unterschiedliche Male wiederholt werden. Die vergoldete Oberfläche wird dann mit Essig abgerieben und falls sie glänzen soll, mit Blauslein polirt. Soll die Vergoldung ein mattes Ansehen haben, so bestreicht man sie mit einem geschmolzenen Gemenge, das aus 8 Th. Salpeter, 5 Th. Alaun und 7 Th. Kochsalz besteht, bringt dasselbe wiederum zum Schmelzen und entfernt es dann durch Wasser. Sollen dagegen nur einzelne Stellen polirt werden und andere matt bleiben, so bedeckt man die ersteren mit einem Brei aus Kreide, Zucker, Gummi und Wasser, welche Operation man das Aussparen nennt. Darauf trocknet und erhitzt man das Stück, bis das Aufgetragene schwarz erscheint und matt ist dann wie bereits angegeben.

Die Vergoldung kann auf verschiedene Weise gefärbt werden. Durch Glühwachs, ein Gemenge aus 16 Th. Wachs, $1\frac{1}{2}$ Th. rothem Bolus oder Ocker, 1 Th. Grünspan und 1 Th. Alaun, erlangt sie eine röthliche Farbe. Sobald das Quecksilber ausgetrieben ist, taucht man den Gegenstand sofort, also noch warm, in das geschmolzene Glühwachs und brennt dasselbe über einem lebhaften Kohlenfeuer ab. Hierbei legirt sich ein Theil des Kupfers aus dem Grünspan mit dem Golde. Dies geschieht dadurch, daß sich aus dem schmelzenden Gemenge Kupfer auf das Zink der Bronze niederschlägt. Ferner wird auch durch die Producte der trocknen Destillation des Wachses und der Essigsäure (Kohlenwasserstoff, fein zertheilte Kohle u.) das Kupferoxyd im Grünspan zu metallischem Kupfer reducirt, welches sich gleichfalls mit dem Golde legirt. Die übrigen Stoffe dienen nur zur Verdünnung der wirksamen Bestandtheile. Indessen wollen einige Vergolder die Bemerkung gemacht haben, daß ein alaunhaltiges Glühwachs eine hellere Farbe liefert, als ein mit Borax dargestelltes. Es ist daher möglich, daß sich im ersteren Falle eine Aluminiumlegirung bildet. Wagner empfiehlt das Glühwachs aus indifferenten Pulvern (Porzellanerde, Speckstein, Bolus, Infusorienerde) und Kupferseife (Stearin-, palmitin- und ölsäurem Kupferoxyd) zu bereiten *). Die Kupferseife erhält man auf nassem Wege durch Fällen einer Lösung von Kernseife mit einer Lösung von Kupfervitriol, Auswaschen und vorsichtiges Schmelzen des Niederschlags. Oder man erhitzt die bei der Fabrication der Stearinsäure abfallende Oelsäure andauernd mit kohlensaurem Kupferoxyd (grüne Kupferfarbe) bis zum Auflösen desselben. Will man die reine Goldfarbe erhöhen, so rührt man ein Gemenge aus 6 Th. Salpeter, 2 Th. Eisenvitriol, 1 Th. Zinkvitriol und 1 Th. Alaun mit Wasser an, trägt dasselbe auf, erhitzt bis zum Schwarzwerden und löst den Gegenstand in Wasser ab. Durch ein silberhaltiges Goldamalgam kann man der Vergoldung eine grünliche Färbung ertheilen, die noch erhöht wird durch ein Gemisch aus 14 Th. Salmiak, 17 Th. Salpeter und 9 Th. Grünspan. — Während man sonst in der Regel die Stücke einzeln färbt,

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLIV. S. 237.

gelingt dies bei einem Verfahren nach Lemer cier bei mehreren zugleich. Die Farbe besteht aus 2 Th. Salpeter, 1 Th. Kochsalz und 1 Th. Alaun. Ein Pfund derselben wird mit 5 Loth Flußwasser in einem Tiegel erhitzt. Sobald ein Steigen eintritt, setzt man $1\frac{1}{2}$ Loth Salzsäure hinzu und bringt hierauf die zu färbenden Gegenstände hinein. Nach 3 Minuten, während dessen man gut umgerührt hat, nimmt man die Sachen heraus, spült sie mit heißem Wasser ab und taucht sie von Neuem wieder ein. Das Abspülen wird von Minute zu Minute wiederholt, bis der gewünschte Erfolg erzielt ist. Man darf die Farbe niemals antrocknen lassen und vor und nach der Operation wendet man zum Beizen nur Schwefelsäure an. Diese Farbe greift das Gold lange nicht so an, wie die sonst gebräuchliche. Reicht man die zu färbenden Gegenstände auf einen Draht, so erspart man bedeutend an Zeit.

Kupfer nimmt das Amalgam weniger gut an als Bronze und verzehrt auch mehr Gold. Bei einem Zusatz von $\frac{1}{7}$ Messing macht sich die Vergoldung leichter. — Will man Stahl, Schmiedeeisen oder Gußeisen im Feuer vergolden, so muß die Oberfläche zuvor mit Quecksilber überzogen werden. Dies geschieht nach Böttcher am besten auf folgende Weise: Man bringt in ein Porzellangefäß 12 Th. Quecksilber, 1 Th. Zink, 2 Th. Eisenvitriol, 12 Th. Wasser und $1\frac{1}{2}$ Th. Salzsäure von 1,2 spec. Gew., legt die Gegenstände, welche angequidelt werden sollen, hinein und erhitzt bis zum Sieden. Das stark positive Zinnamalgam erhöht die elektromotorische Spannung zwischen Eisen und Quecksilber in dem Grade, daß eine Verbindung beider in kurzer Zeit erfolgt.

Die Feuervergoldung gehört mit zu den ungesundesten Arbeiten. Schon die stete Berührung der Hände mit dem giftigen Quecksilber, dem Amalgam, ist sehr gefährlich, besonders aber die Quecksilberdämpfe beim Erhitzen. Namentlich letztere zerstörten die Gesundheit der Arbeiter sehr schnell; sie riefen ein Bittern der Glieder, Nervenreizbarkeit und Speichelfluß hervor. Oft führten diese Anfälle, unter dem Namen Quecksilberkrankheit bekannt, sogar den Tod herbei. Aber auch ohne diesen war das Loos des Arbeiters ein trauriges. Denn wenn auch die Krankheit eben nur die Folge seiner Beschäftigung war, so wurde er dennoch, sobald seine Kraft erschöpft, vom Arbeitgeber entlassen. Schon bei alten medicinischen Schriftstellern finden wir erschütternde Beschreibungen von den traurigen Folgen dieser zerstörenden Krankheit. Bereits im ersten Jahrhunderte n. Chr. G. kannte man die Feuervergoldung.

Allerdings war man auf allerlei Vorsichtsmaßregeln bedacht, die Gefährlichkeit dieser Arbeit zu mildern. Aber einerseits hatten sehr oft die Fabrikherrn kein theilnehmendes Herz für die Arbeiter und dann waren auch diese zu sorglos, so daß die Feuervergoldung mit das stärkste Contingent zu dem Märtyrertum der Industrie lieferte. Auch die kalte Vergoldung war nicht im Stande diesem Uebel abzuhelpen, denn theils überzog sie die Gegenstände nur mit einem Hauch von Gold und dann ließ die Form nicht immer diese Art der Vergoldung zu. Aus diesen Gründen hat die galvanische Vergoldung in kurzer Zeit eine bedeutende Ausdehnung erlangt.

Es fragt sich nun, wie sich die galvanische Vergoldung zur Feuervergoldung verhält. Selten bietet ein Ersatzmittel volle Entschädigung für das, was es ersetzen soll; so auch hier. Durch das bloße Auge ist ein Unterschied beider nicht zu erkennen; selbst der Geübteste täuscht sich dabei. Wohl aber ist auf chemischem

Wege festzustellen, ob irgend ein Gegenstand auf dem alten oder neuen Wege vergoldet ist. Behandelt man nämlich den fraglichen Gegenstand mit verdünnter Salpetersäure, so löst sich Alles bis auf die Goldhaut auf. Diese zeigt sich auf beiden Seiten von rein gelber Farbe, wenn die Vergoldung auf galvanischem Wege erzielt worden war; bei der Feuervergoldung hingegen besitzt die Haut auf der inneren Fläche eine mehr oder weniger rothbraune Farbe. Dies rührt daher, weil sich das Gold im letzteren Falle mit dem Metall des Gegenstandes legirt, während dies bei der galvanischen Vergoldung nicht der Fall ist. Hier ist also der Goldüberzug als ein Anstrich zu betrachten. Diese Wahrnehmung macht es erklärlich, daß die galvanische Vergoldung bei gleicher Goldmenge weniger haltbar sein muß als die Feuervergoldung. Im ersteren Falle ist die Goldschicht einfach nur aufgelegt; sie kann natürlich nicht so fest haften, als eine Schicht, die bis zu einer gewissen Tiefe durch die Legirung beider Metalle fest gelöthet ist.

Das ist der Nachtheil, der der neuen Vergoldung anklebt. Aber sie hat vor der älteren Methode auch einen nicht unbedeutenden Vortheil voraus. Ein Goldblättchen, das von einer Feuervergoldung herrührt, erscheint nämlich, wenn man es zwischen das Auge und das auffallende Licht bringt, als ein Sieb mit unzähligen kleinen Löchern, was davon herrührt, daß das Quecksilber verdampft und in Folge dessen eine unterbrochene Fläche zurückläßt. Die durch den galvanischen Strom niedergeschlagenen Goldblättchen sind zwar nicht absolut, aber doch hinreichend ununterbrochen und folglich zum häuslichen Gebrauche und vorzüglich zu Gefäßen, die mit saueren Nahrungsmitteln in Berührung kommen, sehr den durch Feuer vergoldeten vorzuziehen.

Die kalte Vergoldung scheint eine alte deutsche Erfindung zu sein. Aber gegen Ende des 17. Jahrhunderts war sie nur Wenigen bekannt. Man wendet sie auf Messing an, besonders aber auf Silber. Zu diesem Ende löst man Ducatengold in Königswasser auf und tränkt mit dieser Lösung Feinwandläppchen. Diese trocknet man und verbrennt sie zu Zunder, wobei man sich aber hüten muß, daß Nichts durch den Luftzug fortgeweht wird. Durch die Hitze wird das Goldchlorid zersetzt, so daß also der Zunder Nichts weiter ist als ein Gemenge von fein zerkleinertem Gold und Kohle. Will man vergolden, so reibt man die Oberfläche des Gegenstandes mit diesem Pulver ein, wobei man sich eines mit Salzwasser oder Eßig getränkten Korkes bedient. Dann wird mit dem Stahl oder Blutstein polirt. So dauerhaft wie die Feuervergoldung ist diese Art der Vergoldung nicht; aber sie besitzt ein besseres Aussehen, eine mehr röthliche Farbe, die dadurch noch erhöht werden kann, daß man der Goldauflösung Kupfer oder Grünspan zusetzt.

Die älteste Art der nassen Vergoldung wurde besonders bei Instrumenten von Stahl angewendet. Man schüttelt eine gesättigte Goldlösung mit dem dreifachen Volumen Aether, der das Goldchlorid in sich aufnimmt. In diesen Aether taucht man dann die vorher gut gereinigten Gegenstände, die man nach der Vergoldung mit Wasser abwäscht, bei 65° trocknet und dann mit dem Stahl polirt oder mit Leder abreibt. Ist die Flüssigkeit zu sauer, so wird der Stahl zu sehr angegriffen und das Gold löst sich ab. Gehler empfiehlt den Stahl vorher durch Salpetersäure rauh zu machen, d. h. zu äzen. Auf diese Weise werden Nadeln, Klinge, Dolche, Federn u. vergoldet, um sie vor dem Rosten zu schützen.

Ein anderes 1837 in England patentirtes Verfahren, wobei die Gegenstände durch Eintauchen in eine Flüssigkeit vergoldet werden, ist bereits Bd. III. S. 397

angeführt. — Zur Vergoldung auf Silber empfiehlt Levol neutrales Chlorgold so lange mit einer wässrigen Lösung von Schwefelcyankalium zu versehen, bis der anfangs entstehende Niederschlag sich wieder auflöst. Die Flüssigkeit muß aber sauer reagiren oder durch Zusatz von ein Paar Tropfen Salzsäure dahin gebracht werden. Man taucht die gut gereinigten Gegenstände in die siedende, mäßig concentrirte Flüssigkeit, wobei man das verdampfte Wasser von Zeit zu Zeit ersetzt. Die Säure verhindert die Bildung eines goldhaltigen Niederschlages, der bei der Steigerung der Temperatur erfolgt, sobald das Alkali vorherrscht. Bei Kupfer, Messing und Bronze wendet man eine bis nahe zum Siedepunkt erhitzte Auflösung von Goldchlorid in Cyankalium an. Roseleur und Lavaur empfehlen als Bad eine Auflösung von Goldchlorid oder Goldoryd in einem pyrophosphorsauren Alkali. Hier soll die Vergoldung fast augenblicklich erfolgen.

Die früher allgemein übliche Vergoldung mit Blattgold, die auf Eisen, Stahl, Kupfer und Messing angewendet wurde, ist durch die Plattirung ganz verdrängt worden.

Die Vergoldung der Räder von Uhren hatte früher unübersteigliche Schwierigkeiten, weil hierbei entweder die stählernen Getriebe mit vergoldet oder angegriffen wurden. Plantamour ist es gelungen eine Anquidflüssigkeit zusammen zu setzen, welche durch ihre alkalische Beschaffenheit zugleich die Räder reinigt und anquid ohne die Stahlgetriebe im Mindesten anzugreifen. Er versetzt eine Lösung von Quecksilber in Salpetersäure so lange mit Ammoniak, bis sich der anfangs entstehende Niederschlag wieder auflöst. Dies geschieht bei Ueberschuß der Säure sehr rasch, indem sich ein leicht lösliches Doppelsalz bildet. In diese Lösung taucht man die Räder ohne Weiteres mehrere Minuten lang ein. Das überschüssige Ammoniak entfernt die fettige Unreinigkeit von der Oberfläche, worauf die Vergoldung des gelben Metalles erfolgt. Dann vergoldet man mit Goldamalgam.

Sonst wendet man beim Vergolden einzelner Uhrentheile folgende Verfahren an: Man reibt ein sogenanntes Amalgam, einen mit Wasser angemachten Leiz, der aus Silberpulver, Kochsalz und einer kleinen Menge Weinstein besteht, mit einer harten Bürste auf die Oberfläche der zu vergoldenden Gegenstände. Will man eine matte Vergoldung erhalten, so wäscht man den Gegenstand mit reinem Wasser ab und taucht ihn dann unmittelbar in ein Goldbad. Soll die Vergoldung glänzend sein, so reibt man nach dem Abwaschen mit der Krabbürste und bringt dann erst das Object in das Goldbad. Will man eine stärkere Vergoldung erzielen, so muß man mehrere Male eintauchen. Bei der matten Vergoldung frischt man vor jedem Eintauchen die Oberfläche mittelst einer mit gepulvertem Weinstein belegten Bürste auf; bei der glänzenden reibt man dagegen nur mit einer Krabbürste.

Bei sehr zarten Gegenständen nimmt man bei dem Amalgam statt des Silberpulvers Goldpulver. Man erhält so direct ein Goldkorn und je nach dem gewünschten Ton, taucht man den Gegenstand einmal oder mehrmals in das Vergoldungsbad. Bovy hat diese Methoden mit Vortheil auf Silberarbeiten, Bronze-Schmuckwaaren, kleine Statuen, Armleuchter etc. angewendet. Außerdem hat derselbe ein neues Verfahren angegeben, welches außer auf Silber, Kupfer und Bronze auch auf Zink anwendbar ist, sobald dasselbe auf galvanischem Wege mit einer Kupferschicht überzogen worden ist. Man ersetzt hierbei das sogenannte

Amalgam durch Kupfer- oder Bronzepulver. Diese Vergoldungsweise nennt *Voy* *Porage séricigrane*, weil ihr das Korn ein seidenartiges Aussehen ertheilt. Die Manipulation ist hier ganz so wie bei den vorhergehenden Methoden. Als Bronzepulver wendet man zerriebene, künstliche Bronze an. Das Kupferpulver bereitet man aus einer Lösung von Kupfervitriol (150 bis 200 Grm. in 6 Liter Wasser, also 1 Th. in 30 bis 40 Th. Wasser) durch Niederschlagen mittelst weissen Eisens oder Zink. Um diese Metalle aus dem Niederschlage zu entfernen, behandelt man letzteren mit verdünnter Salzsäure (1 Th. mit 3 Th. Wasser) und schlämmt ihn dann. Das sogenannte Amalgam bereitet man aus 1 Th. dieses feuchten Pulvers mit 17 Th. Kochsalz und 2 Th. Weinslein. Um jede Oxidation zu vermeiden, bewahrt man das Kupferpulver unter Wasser auf, das mit ein Paar Tropfen Salzsäure versetzt ist. Besser aber bereitet man es stets frisch. Als Goldbad wendet *Voy* eine Auflösung von Goldoxyd in gelbem Blutlaugensalze an, die warm bereitet wird.

Nicht metallische Gegenstände werden mit Blattgold vergoldet. Auch hier giebt es zwei Methoden: die Vergoldung in Oel (franz. *dorure à l'huile*, engl. *gilding in oil*) und die Wasservergoldung (Vergoldung auf Feingrund, franz. *dorure en détrempe*, engl. *gilding on water-size*, g. in distemper, burnished gilding). Die erstere wird bei Holz, Metall, Stein, Gyps, Marmor u. angewendet, selbst dann, wenn die Gegenstände der Einwirkung der Luft ausgesetzt werden sollen. Zuerst wird die Oberfläche grundirt, d. h. durch Auftragen von Bleiweiß, mit Leinölfirnis abgerieben, eine glatte Fläche hergestellt. Dann trägt man den Oelgrund — Ueberbleibsel von Oelfarben aller Art, oder Oel, Bleiweiß, Glätte, Umbra mit altem Leinöl oder Mohnöl abgerieben, — sorgfältig auf und nach dem Trocknen das Blattgold, das mit Baumwollenbäuschchen angedrückt wird. Diese Vergoldung ist an der Luft sehr dauerhaft, kann jedoch nicht polirt werden. Soll die Vergoldung glänzend sein, also polirt werden, so grundirt man mit Bleiweiß, gelbem Oel und dickem Leinölfirnis, überzieht den Grund mit 10 bis 12 Lagen Bleiweißfirnis und schleift die Oberfläche glänzend mit Bimsstein und Wasser. Dann trägt man wieder 4 bis 5 Lagen Lackfirnis auf und stellt nach dem Trocknen eine wie Glas glänzende Oberfläche durch Abreiben mit Schachtelhalm, Zinnsäbe und geschlammtem Tripel her. Das Blattgold befestigt man auf einer sehr dünnen Schicht Oelgrund und nach dem Trocknen trägt man Goldlack, dann Kopallack auf, polirt die Oberfläche mit Tripel und überfährt sie mit einem mit Oel befeuchteten Ballen.

Die zweite Art dieser Vergoldung ist mühevoller und weniger haltbar, dafür besitzt sie aber ein schöneres Aussehen. Auf diese Weise vergoldet man Bilder und Spiegelrahmen, Tapetenleisten und mancherlei Verzierungen. Zunächst wird der zu vergoldende Gegenstand mit Leim getränkt, der, falls er bei Holz angewendet werden soll, mit Wermuth, Zwiebeln und Salz gekocht wird, um den Wurmfraß zu verhindern. Dann wird der Kreidegrund — Schleimkreide mit Pergamentleimauflösung angerieben, — aufgetragen und nach dem Trocknen mit Bimsstein abgeschliffen und geglättet. Die Wiederherstellung der feinen Nuancen der Oberfläche, die durch das Auftragen des Grundes zerstört sind, erfordert eine sehr umständliche Operation, das Repariren, weshalb man heute dergleichen Verzierungen aus Kreide und Leim in Formen modellirt und dann auflebt. Dann giebt man einen gelben Anstrich aus gelbem Oel und Pergamentleim, der abge-

schachtelt wird, worauf man das Poliment (8 Th. rother Bolus, 1 Th. Röthel, 1 Th. Wasserblei, wenig Baumöl mit Pergamentleim angerührt) wiederholt aufträgt. Die Stellen, welche matt bleiben sollen, werden nach dem Trocknen mit Leinwand abgerieben; die glänzenden Stellen dagegen noch einige Male mit dem Poliment überzogen. Soll das Blattgold aufgetragen werden, so wird die Fläche angefeuchtet und nach dem Befestigen mit Blutstein oder Achat polirt. Die matten Stellen werden mit dünnem Leim überzogen und die glänzenden mit der sogenannten Pelle (vermeil). Letztere besteht aus einer Abkochung von rothen und gelben Pigmenten, Orleans, Safran, Gummigutti, Drachenblut mit Pottasche und Wasser, die mit arabischem Gummi verdickt wird.

Von alten vergoldeten Verzierungen in Holz entfernt man das Gold durch Einlegen in kochendes Wasser, durch welches der Leim aufgeweicht und durch Bürsten ganz losgelöst wird. Die trübe Flüssigkeit wird eingekocht, der Rückstand gegläht und das Gold durch Quecksilber ausgezogen.

In neuester Zeit wendet man vielfach statt des Blattgoldes goldplattirtes Silber bei der Holzvergoldung an. Der echte Goldüberzug ist hier natürlich viel dünner und daher auch die Verzierungen viel billiger, obgleich sie neu ebenso schön aussehen wie die mit echtem Blattgold. Der Goldüberzug ist jedoch porös und damit sich das Silber an der Luft nicht schwärze, ist die Oberfläche mit Firniß überzogen. So lange dieser Ueberzug nicht verlegt wird, behält auch das Gold seinen Glanz. Aber an jeder Stelle, an welcher der Firniß nur im mindesten verlegt ist, breitet sich nach und nach eine Bräunung der Vergoldung aus, welche an der Luft nach Monaten und Jahren eintritt, in feuchtem Schwefelwasserstoff aber schon nach wenigen Minuten zu einer vollständigen Schwärzung wird. Ferner darf diese Vergoldung nicht mit einem harten Körper berührt und der Staub darf nur mit der größten Vorsicht entfernt werden, wenn sie schön bleiben soll.

Beim Porzellan wird das Gold unter der Muffel eingebrannt. Man rührt das feinste niedergeschlagene Gold mit Lavendelöl an und setzt wohl auch ein Flussmittel ($\frac{1}{15}$ bis $\frac{1}{20}$ Wismuthoxyd) hinzu. Knallgold mit Schwefelbalsam aufgetragen giebt eine sehr glänzende aber schwache Vergoldung. Statt des Knallgoldes kann man auch Schwefelgold anwenden. Soll das Gold einen Kupferglanz annehmen, so trägt man es auf einen umbrasefarbigen Grund auf, der durch die Vergoldung hindurchscheint, da ja Gold in sehr dünnen Lagen durchscheinend ist. Das Knallgold reducirt sich beim Brennen ohne Explosion, da es nur in sehr geringen Mengen verwendet wird. — Beim Poliren wird das Gold überall mit einem Achat gut angeedrückt und dann mit Blutstein polirt. Das Gold darf hierbei aber nicht berührt werden, weil der Schweiß den Glanz trübt. Man faßt daher die Geschirre stets nur mit einem reinen Tuch an. Soll die Vergoldung matt bleiben, so wird sie nur leicht polirt und kommt dann nochmals unter die Muffel. Will man auf mattem Grunde glänzende Zeichnungen hervortreten lassen, so werden diese mittelst Blutstein hergestellt.

Glas läßt sich dauerhaft und spiegelnd nur in der Wärme vergolden. Die Vergoldungen in der Kälte sind von schöner Farbe und Glanz, aber sie lösen sich beim Waschen mit Wasser vom Glase ab. Die Vergoldungsflüssigkeit bereitet man sich nach Liebig *) auf folgende Weise: Man setzt zu einer Auflösung von

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCVII. S. 137.

reinem Gold in Königswasser auf jedes Gramm Gold 292 Milligrm. Kochsalz, dampft zur Trockne ab und entfernt die freie Säure. Den Rückstand löst man in Wasser auf und zwar der Art, daß die Lösung in 100 Cubikcentimeter Flüssigkeit genau 1000 Milligrm. Gold enthält. Mit dieser Lösung bereitet man sich zwei andere Flüssigkeiten. Zu der einen mischt man 50 Cubiccentim. der Goldlösung mit 20 Cubiccentim. einer Natronlauge von 1,035 spec. Gew. und 300 Cubiccentimeter Wasser. Man erhitzt das Ganze zum Sieden und kocht bis auf 250 Cubikcentimeter ein. Zur zweiten Flüssigkeit nimmt man dieselben Mengen der Goldlösung und Natronlauge und setzt 230 Cubikcentimeter Wasser hinzu. Diese Mischung stellt man eine Stunde lang in siedendes Wasser. Beide Flüssigkeiten werden mit einander gemischt.

Will man ein Glasgefäß innen vergolden, so gießt man in dasselbe den zehnten Theil seines Volumens einer Mischung von 2 Th. Weingeist und 1 Th. Aether und füllt es sodann mit der noch heißen Vergoldungsflüssigkeit an. Das Gefäß setzt man darauf in Wasser, dessen Temperatur 80° C. nicht übersteigen darf. In 10 bis 15 Minuten überzieht sich die innere Fläche mit einer spiegelnden Goldhaut. Sobald die Wände im durchfallenden Lichte undurchsichtig erscheinen oder eine tief dunkelgrüne Farbe annehmen, nimmt man das Gefäß aus dem Wasser heraus.

Im Großen läßt sich diese Vergoldung doch nicht durchführen. Zwar wird das Gold unter allen Umständen durch Weingeist reducirt, aber bei dem kleinsten Versehen, das nicht immer erkannt werden kann, haftet das Gold nicht am Glase. Die Mischung vergoldet nur frisch; schon nicht mehr nach 24 Stunden. So lange sie noch einen schwachen Stich ins Gelbliche besitzt, kann sie noch verwendet werden.

Petitjean schreibt folgende Vergoldungsflüssigkeit vor *): Man löst in 21½ Pfd. destillirtem Wasser 1 Unze Goldchlorid auf und setzt dann eine Lösung von 10½ Drachme Citronensäure in dem 4- bis 5-fachen Gewicht Wasser und 5½ Drachme Ammoniakflüssigkeit hinzu. Die Lösung muß stets frisch bereitet zur Anwendung kommen. W. B.

Vernier, s. Nonius.

Verseifung nennt man die Zerlegung der Fette durch verschiedene Oxyde in fette Säuren, die sich mit den Oxyden verbinden, und Glycerin. Die Verbindungen der fetten Säuren mit Oxyden bilden Seifen. Im gewöhnlichen Leben faßt man diesen Begriff enger und versteht unter Seife (lat. *sapo*, franz. *savon*, engl. *soap*) nur die in Wasser löslichen Verbindungen der Alkalien mit den fetten Säuren.

Dem Alterthum war die Seife nicht bekannt. Es ist zwar in der deutschen Uebersetzung des alten Testaments an verschiedenen Stellen von Seife die Rede, aber im hebräischen Text steht immer nur *Corith* und *neither*, welche Worte Pottasche und Soda bedeuten. Homer kannte die Seife nicht, eben so wenig Dioskorides, der im 1. Jahrhundert v. Chr. G. lebte. Plinius ist der erste, der die Seife anführt. Er berichtet, daß aus den eroberten germanischen Grenzprovinzen Seifenkugeln, aus Biegentalg und Buchenasche bereitet und einen

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXL. S. 441.

sehr angenehmen Schaum gebend, als ein ganz neues Product nach Rom gekommen wären. Man habe zwar gesagt, daß die Gallier diese Erfindung gemacht hätten, aber dem stimmt Plinius nicht bei, weil die Deutschen, indem sie ein schöneres und unverfälschtes Product lieferten, erfahrener in der Fabrikation wären. In Rom wurde die Seife zu jener Zeit doch mehr als Heilmittel denn zur Reinigung gebraucht. Besonders bediente man sich ihrer als haarverschönerndes Mittel. Plinius führt sie unter den erweichenden oder zertheilenden Heilmitteln auf, doch spricht er schon von harten und weichen Seifen. Galen, im 2. Jahrh. n. Chr., sagt, daß man die Seife aus Rinder-, Ziegen- oder Hammelfett und Aschelauge mit Kalk verfertige. Auch er ertheilt dem deutschen Fabrikat das größte Lob. Bei ihm finden wir zuerst die Bemerkung, daß man mit der Seife allen Schmutz von dem Körper und von den Kleidern entfernen könne.

In deutschen Urkunden ist erst sehr spät (im 12. bis 13. Jahrh.) von der Seife die Rede. Doch geben sie uns eben so wenig, wie die älteren Schriftsteller, genauere Auskunft über die Art und Ausdehnung der Fabrikation und deren Einfluß auf das Wohl des Volkes. Wahrscheinlich hat die Seifenfabrikation durch das ganze Mittelalter hindurch sehr wenige Veränderungen erlitten, denn hierzu fehlte ja die Grundbedingung, eine richtige Kenntniß der Stoffe, mit denen man arbeitete. Man glaubte bis in die neueste Zeit, daß sich das ganze Fett mit den Alkalien verbinde, obgleich schon Lachenius 1666 aussprach, daß bei der Verseifung sich eine Säure, die in dem Fett verborgen sei, mit dem Alkali verbinde, — eine Bemerkung, die seinem Scharfsinn alle Ehre macht. Selbst die Entdeckung des Glycerins (Glycerin) durch Scheele 1783 blieb ohne Einfluß auf die Theorie der Seifenbildung, für die erst Chevreul's meisterhafte Untersuchungen über die Constitution der Fette (1811 bis 1823) von der größten Wichtigkeit wurden.

Diese Untersuchungen und die künstliche Fabrikation der Soda aus Kochsalz, die durch die französische Revolution hervorgerufen wurde, haben eine vollständige Umwälzung in der Seifenfabrikation hervorgerufen. Obgleich an und für sich nicht schwierig, da in alter Zeit sehr viele Hausfrauen ihren Bedarf an Seife selbst anfertigten, ist sie dennoch sehr bedeutend vereinfacht worden. Während man früher, wo die Soda selten und theuer war, zumeist die Fette erst mit Kali verseifte und dann die weiche Kaliseife durch Kochen mit Kochsalz in harte Natronseife umwandelte, bereitet man jetzt letztere direct, wobei man bedeutend an Zeit und Raum spart. Auch die weitere Ausdehnung des Handels hat einen großen Einfluß auf die Seifenfabrikation ausgeübt. In früherer Zeit bereitete man die Seife im Norden allgemein aus Talg und im Süden aus Baumöl, jetzt liefert aber der Handel eine Menge von Fetten, theils thierischen, theils pflanzlichen Ursprungs, zu billigen Preisen, die alle zu Seife verarbeitet werden.

Die glückliche Vereinigung aller dieser Umstände hat bewirkt, daß heute die Seife zu den nothwendigsten Bedürfnissen des Lebens zählt; ja, nach Liebig's Ausspruch, giebt der Verbrauch an Seife den Maßstab ab für den Culturzustand eines Landes.

Die Fette, aus denen die Seife fabricirt wird, sind theils flüssige, blattige, theils feste. Zu den ersteren gehören: Oliven-, Hanf-, Rüb-, Leinöl und der Tiran; in seltenen Fällen Kohn-, Buchel-, Ruß-, Mandel- und Ricinusöl; zu den letzteren: Talg, Cocodnuß- und Palmöl. Die beiden letzteren vegetabili-

sehen Fette haben in letzterer Zeit eine ungemeine Wichtigkeit erlangt und verdienen deshalb näher betrachtet zu werden.

Das sogenannte Cocosnussöl oder der Coccoösalg stammt von *Cocos nucifera* und *butyracea*, deren Heimath die alte Welt (Indien) ist. Doch sind diese Palmen, besonders auch der Oelgewinnung wegen, auf den westindischen Inseln und in Brasilien zahlreich angepflanzt. Um das Oel zu erhalten, kocht man die Kerne der Nüsse, deren ein ausgewachsener Palmbaum nicht selten 200 — 300 trägt, längere Zeit mit Wasser und preßt sie nachher. In neuerer Zeit hat man angefangen, die Kerne der Cocosnüsse unter dem Namen Copperah nach Europa zu verschiffen und dann hier warm auszupressen. 420 Pfd. lieferten über 264 $\frac{1}{2}$ Pfd. (oder 63 Proc.) Oel, von dem ein nicht unbedeutender Theil flüssig ist. Der Schmelzpunkt der festen Fette ist ein verschiedener; beim Pressen mußte nach und nach die Temperatur von 140 bis auf 410 gesteigert werden. Der Schmelzpunkt des künstlichen Oeles liegt ungefähr bei 20°. Das Fett ist weiß und seine Consistenz ist härter als die des Schweineschmalzes. Das feste Fett (Corin) ist eine Verbindung einer eigenthümlichen Fettsäure, der Coccoötsäure ($C H O$) mit Glycerolord. Oft aber ist das Fett ranzig und dann enthält es einen großen Theil der Säure frei als Hydrat ($C H O + aq.$).

Das Palmöl stammt von *Elais guineensis* und *E. oleifera*; der erstere Baum ist in Afrika (Guinea) heimisch, doch auch nach Südamerika und Westindien verpflanzt, der letztere findet sich namentlich in Neugranada und Carthago. Das Oel ist in der grünen fleischigen Hülle, welche die Samen einschließt, enthalten; die Bereitungsweise ist dieselbe wie die des Cocosfettes. Das Palmöl oder richtiger die Palmbutter besitzt eine rothgelbe Farbe und einen starken, nicht unangenehmen Geruch, der an den der florentinischen Veilchenwurzel erinnert. Es schmilzt bei 29° und besteht gleichfalls aus einem flüssigen und festen Fett; letzteres, Palmitin genannt, ist eine Verbindung der Palmitinsäure ($C H O$) mit Glycerolord. In der Regel kommt es aber in einem ranzigen Zustande zu uns, so daß also ein Theil der fetten Säure sich darin im freien Zustande befindet. — Unter dem Namen Palmöl kommen auch noch zwei andere, gleichfalls gefärbte, feste Pflanzensette, jedoch in geringerer Menge in den Handel: das Illipeöl und die Galambutter. Sie stammen beide von den Früchten verschiedener *Bassia*-Arten; das erstere wird auf der Küste Koromandel und in Bengalen gewonnen, das letztere kommt aus Afrika.

Der Farbstoff im Palmöl wird bei der Verseifung nicht zerstört. Will man daher eine weiße Seife bereiten, so muß das Oel vorher gebleicht werden. Dies geschieht auf verschiedene Weise. Man schmilzt das Oel mit Bleichkalk oder Braunstein und Kochsalz und entwickelt durch Zusetzen von Schwefelsäure aus diesen Substanzen Chlor. Hierbei wird aber ein Theil des Oeles zerstört, da man einen Ueberschuß von Chlor nicht vermeiden kann. Der Farbstoff wird auch durch concentrirte Schwefelsäure oder durch Sauerstoff, der mittelst Schwefelsäure aus Braunstein entwickelt wird, zerstört; eine Oxydation des Farbstoffes durch Chromsäure (aus doppeltchromsaurem Kali durch starke Mineralsäuren abgeschieden) ist zu theuer. Am einfachsten erreicht man den Zweck durch Anwendung von Wärme; nach *Pohl* ist hierbei der Zutritt von Licht und Luft, die nach *Bayen* durchaus erforderlich sind, nicht nöthig. Erhitzt man das Palmöl in bedeckten Kesseln, die aber, wegen der starken Ausdehnung des Oeles in der Wärme, nur bis zu $2\frac{2}{3}$

gefüllt werden dürfen, bis auf 240°, so kann man bis zu 12 Centnern Del in 10 Minuten bleichen. Der Verlust beträgt nur $\frac{1}{4}$ bis 1 Proc. — Es ist hiernach sehr wahrscheinlich, daß das Palmöl sehr leicht an dem Gewinnungsorte durch die Sonne gebleicht werden könnte.

Das Palmöl ist erst seit der Unterdrückung des Sklavenhandels durch England ein Handelsartikel geworden. Dadurch sind die Bewohner der westafrikanischen Küste gezwungen ihre Bedürfnisse, die sie von den Fremden eintauschen, mit Palmöl zu bezahlen. Der Krieg zwischen England und Rußland hat dazu beigetragen, die Wichtigkeit dieses neuen Handelsartikels erst recht zu erkennen. Rußland ist immer noch der Haupttalglieferant für Europa; England bezog von dort in den letzten sechs Jahren vor dem Kriege nicht weniger denn 7.655,000 Centner. Durch den Krieg wurde der Handel gestört, die Einfuhr hörte auf und in Folge dessen stiegen in England die Preise von Seifen und Kerzen über das Doppelte. Das Palmöl scheint demnach berufen zu sein, die wilden Völker Afrikas der Civilisation zuzuführen. Einige Fortschritte will man bereits seit der Eröffnung dieses Handels bemerkt haben, wenigstens zeigen sich die Neger nicht mehr so geneigt als Tauchmittel Perlen, kleine Spiegel und sonstige Spielereien anzunehmen, sie fordern bereits nützlichere Sachen. Schon jetzt ist das Palmöl ein sehr wichtiger Handelsartikel. England bezog 1850 448,590 Ctr. Palmöl (davon 96,35 Proc. aus Westafrika), außerdem 98,000 Ctr. Cocosnuß-Öl, 415,660 Ctr. Olivenöl (davon 58,65 Proc. aus Neapel und Sicilien), 801,910 Ctr. Leinöl, 75,490 Ctr. Rüböl, $1\frac{1}{2}$ Mill. Ctr. Talg 400,000 Ctr. Ibran und 400,000 Ctr. Walrath. Von dieser Fettmasse macht das Palm- und Cocosöl nur 12,48 Proc. aus, der Talg hingegen 36,23 Proc., so daß für die Einfuhr der ersteren Fette noch eine bedeutende Steigerung in Aussicht steht. Diese machte sich 1853 und 54 auch schon sehr bemerkbar; die Einfuhr an Palmöl aus Afrika betrug 1853 640,000 Ctr. (also eine Steigerung von 48 Proc.) und 1854 bezog England allein 240,000 Ctr. aus der Negerrepublik Liberia. Frankreich führte dagegen 1853 nur 70,000 Ctr. Palmöl ein und 1854 aus Liberia 10,000 Ctr. In Deutschland ist der Verbrauch an Palmöl und Cocosnußöl sehr beträchtlich; die Einfuhr betrug 1847 123,980 Ctr. und 1851 182,000 Ctr.; also in 4 Jahren eine Zunahme von 47,60 Proc.

In neuester Zeit werden auch große Mengen von Oelsäure, — ein Nebenproduct bei der Darstellung der fetten Säuren behufs der Kerzenfabrikation, — und Harz (Koslophonium) zu Seife verarbeitet. Auf der Londoner Industrieausstellung (1851) war eine Menge von vegetabilischen Fetten zu sehen, die bis dahin kaum dem Namen nach bekannt waren. Martius bemerkt bei dieser Gelegenheit, daß bei den enorm hohen Preisen der fetten Öle und Talgarten sich durch die Einföhrung einzelner neuer Pflanzenfette gewinnhafte Unternehmungen begründen lassen würden. Er fürchtet aber, wir Deutschen möchten auch hier, wie immer, zu spät kommen.

Aus dem Talg, Oliven-, Palm-, Cocosnußöl, der Oelsäure und Harz fabricirt man in der Regel harte Seifen, aus dem Ibran und den Samenölen dagegen weiche Seifen.

Die Theorie der Seifenbildung ist sehr einfach. Die Fette kann man als neutrale Salze oder ein Gemenge verschiedener Salze ansehen. Kocht man irgend ein Fett bei Gegenwart von Wasser mit einem ägenden Alkali, dem Hydrate einer

alkalischen Erde, mit Kalkerdehydrat, Blei- oder Zinkoxyd, so wird das Fett in eine oder in mehrere fette Säuren, die sich mit den angeführten stärkeren Basen zu einer Seife verbinden, und in Glycerin, das sich im Wasser auflöst, zerlegt. Stets ist aber das Gewicht der beiden Zersetzungsproducte größer als das des verwendeten Fettes; von einer Sauerstoffaufnahme kann hierbei nicht die Rede sein, weil die Verseifung eben so gut bei gänzlichem Ausschluss der Luft vor sich geht. Die Gewichtsvermehrung geschieht durch eine Aufnahme von Wasser durch das Glycerin- oder Liposoyd, welches sich eben dadurch in Glycerin verwandelt. Beim Palmöl und Cocodnugöl, die einen großen Theil der fetten Säuren im freien Zustande enthalten, verbinden sich diese einfach mit den stärkeren Basen; hier findet also nur eine theilweise Zerlegung der Fette statt und deshalb geht hier die Verseifung viel leichter vor sich als bei den gewöhnlichen Fetten. Dasselbe ist der Fall beim Harz, das als ein Gemenge von Pinin-, Sylvin- und Kolopholsäure anzusehen ist.

Aber auch durch kohlensaure Alkalien kann die Verseifung bewirkt werden. Natürlich ist hier eine längere Zeit erforderlich, da sich doppeltkohlensaures Kali bildet und aus diesem die Kohlensäure durch Kochen nur nach und nach ausgetrieben wird. Dieser Umstand macht die Anwendung der kohlensauren Alkalien im Großen nicht rathlich. Indessen soll nach Tilgman *) die Verseifung bei einer höheren Temperatur (195° C. und darüber) sehr leicht vor sich gehen. Auch mit borsauren Salzen kann das Fett verseift werden; doch sind diese für die Praxis zu theuer. — Da bei der Bereitung der Harzseife eben nur eine Sättigung der Säuren stattfindet, so kann man hierbei die ägenden Alkalien sehr gut durch deren kohlensaure Salze ersetzen.

Man nimmt allgemein an, daß die Verseifung der Fette nur bei Gegenwart von Wasser erfolgt. Pelouze hat aber gezeigt **), daß diese Annahme nicht genau richtig ist; nach ihm können wasserfreie Metalloryde eben so gut Seifen bilden, als dieselben Basen im Hydratzustande oder bloß mit Wasser gemischt. Dies gilt nicht nur für den Talg, sondern auch für die Oele. Wasserfreier Kalk bewirkt die Verseifung des Talges bei 250° C. Zersetzt man die Kalkseife durch Säuren, so erhält man 95 bis 96 Proc. vom Gewicht des Talges fette Säuren, die sich in jeder Hinsicht eben so verhalten wie die aus gewöhnlicher Seife abgetriebenen. Während der Einwirkung des wasserfreien Kalkes entwickelt sich ein weißer Rauch, der bei der Verdichtung Wasser, Aceton und Glycerin liefert. Sobald man aber beträchtliche Mengen auf diese Art versifen will, so kann man eine stürmische Wirkung nicht verhindern. Die Temperatur steigt hierbei so hoch, daß die Masse verkohlt. Wasserfreier Baryt, Strontian und Bleioryd verhalten sich ganz wie Calciumoryd. Diese Thatsache ist sehr interessant, ändert aber an Chevreul's Theorie der Verseifung nichts. Man scheidet hierbei nämlich die wasserfreien Fettsäuren, welche man als fertig gebildet in dem Fett annehmen kann, unverändert und ohne Verluft ab. Das Glycerin aber wird zerlegt. Auch durch die wasserfreien Säuren kann man die Fette bei hoher Temperatur zerlegen, aber die Wirkung ist langsam, schwierig und unvollständig.

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVIII. S. 128.

**) Compt. rend. 1856. No. 23.

Die harte oder weiche Beschaffenheit der Seifen hängt nicht von der Natur der Fette, sondern von der Base ab, durch welche die Verseifung bewirkt worden ist. Natron bildet stets harte, Kali aber weiche Seifen (Schmierseifen). Mit letzterem kann man allerdings auch harte Seifen fabriciren, da die Kaliseife das Vermögen besitzt die Natronsalze zu zerlegen. So lange die Soda allein aus der Asche der Strandpflanzen bereitet wurde, also seltener war, wurde dieser mittelbare Weg bei Darstellung der festen Seifen häufiger befolgt. Zum Theil ist dieses alte Verfahren in Deutschland noch gebräuchlich. Man verfähet hierbei auf folgende Weise: Man bringt rohen Talg und Aetzkalllauge in einen eisernen Kessel, der jedoch nicht ganz gefüllt werden darf, da die Masse beim Kochen bedeutend aufschäumt. Deshalb wird der Kessel auch mit einem hölzernen Sturze versehen. Die Lauge bereitet man aus Holzasche, denn nur diese allein enthält kohlensaures Kali. Die darin enthaltenen Kohlenstückchen werden durch Sieben entfernt und dann die Asche mit Wasser angefeuchtet. In der Mitte höhlt man den Haufen aus, löscht in dieser Vertiefung Kalk und mengt das Ganze sorgfältig durch einander. Man bringt man die Masse zum Auslaugen in Gefäße (Aescher). Der erste Aufguss liefert die stärkste (die Feuerlauge von 20 bis 25° B.), der zweite eine schwächere, die Abrihtelauge von 8 bis 10° B. und der dritte eine ganz schwache Lauge von 3 bis 4° B. Die Bereitung der Lauge aus Pottasche geht schneller von Statten.

Sobald der Talg geschmolzen ist, bildet er mit der Lauge eine milchartige Klüffigkeit. Man kocht nun unter fortwährendem Umrühren und gießt zeitweise etwas Feuerlauge zu, bis endlich die milchartige Trübung verschwunden ist. Das Fett ist dann verseift und bildet jetzt den sogenannten Seifenleim, der nach dem Erkalten eine durchsichtige Gallerte darstellt. Nun schreitet man zum Ausfalten, d. h. zur Umwandlung der Kaliseife in Natronseife durch Kochsalz. Auf 100 Pfd. Talg setzt man 12 bis 16 Pfd. Kochsalz zu, wodurch sich die Seife, da sie in einer Kochsalzlösung nicht löslich ist, als eine flockige Masse abscheidet. Die Klüffigkeit, die sogenannte Unterlauge, läßt man ab. Diese nimmt gleichzeitig alle fremden Salze aus der Lauge, so wie die Membranen aus dem Talge in sich auf, so daß die Seife durch das Ausfalten zugleich auch gereinigt wird. Die geronnene Seife wird abermals mit Kallauge, jetzt aber mit der schwächeren Abrihtelauge gekocht und dann wiederum ausgefalten. Diese Operationen muß man bei Anwendung roher Materialien vier bis fünf Mal wiederholen, bevor die Seife ganz fertig ist; sonst ist eine zweimalige Operation ausreichend. Der Seifensieder nennt dieses: auf einem, auf dem zweiten, auf dem fünften Wasser u. gesotten.

Als endlich die ausgefaltene Seife gehörig rein und fest, so wird dieselbe klar gesotten, d. h. auf den richtigen Wassergehalt gebracht. Da sich die Kochsalzlösung beim Einkochen immer mehr concentrirt, so entzieht sie der Seife immer mehr Wasser. Diese siedet zuerst weich, schaumig in kleinen Blasen, hochaufsteigend, oder wie der technische Ausdruck heißt, „zach“, dann bilden sich größere Blasen und endlich sinkt der Schaum zusammen, die Seife poltert auf und siedet in Kern. Nun schöpft man die zum Kern gesottene Seife in die Kühltütte und dann in die Form, deren Boden mit Leinwand bedeckt ist, um die Entfernung der letzten Laugen-theilchen zu erleichtern. Zur Beförderung des Letzteren, so wie zur Bildung einer festen zusammenhängenden Masse schlägt oder rührt man die Seife mit einem eisernen Stabe fleißig um; dieß nennt man das Kerben der Seife. Zugleich wird dadurch die Seife marmorirt, indem sich, der Bewegung entsprechend, verschiedene Muster,

Mandeln, Blumen etc., d. h. krystallinische Ausscheidungen in einer nicht krystallinischen Grundmasse (Kern und Fluß) bilden. Die Entstehung des Flußes ist in den Unreinigkeiten der Lauge (Kalk und Magnesia) und darin zu suchen, daß die Lauge die Kessel angreift. Auf diese Weise bildet sich Kalk-, Magnesia-, Eisen- und Kupferseife, die alle im Wasser nicht löslich sind. In der heißen Seifenmasse sind sie gleichförmig vertheilt, beim langsamen Erkalten aber sammeln sich die Seifen der Erden und Metalloxyde an einzelnen Stellen mit einer gewissen Regelmäßigkeit in größeren oder kleineren Gruppen an und bilden so, da namentlich die Metalloxydseifen gefärbt sind und außerdem noch bei schwefelichen Laugen Schwefel-Eisen und Schwefelkupfer entsteht, daß marmorartige Aussehen.

Bisher legte man auf diese Marmorirung im praktischen Leben ein großes Gewicht, weil sie bekundete, daß der Wassergehalt in dieser Seife eine gewisse enge Grenze nicht überschreiten durfte, denn sonst hätten sich die schwereren Metalloseifen ausgeschieden und zu Boden gesetzt. Heute aber ist dieses Zeichen sehr trügerisch, da man gelernt hat, die Marmorirung künstlich herzustellen, indem man bei einer gewissen Erhärtung der Seife Metalloxyde einrührt.

An einigen Orten liebt man die marmorirte Seife nicht und entfernt deshalb die gefärbten Seifen durch Abiegenlassen oder man kühlt die fertige Seife sehr schnell ab; der Fluß kann sich dann nicht in regelmäßigen Gebilden absetzen, sondern ist gleichmäßig durch die ganze Seife vertheilt, wodurch diese ein graues Ansehen erhält. Nach vollständigem Erkalten schneidet man die Seife mittelst Messingdraht in Tafeln oder viereckige Riegel. Lesage, Mechaniker in Belleville bei Paris, hat eine Maschine zum Zerschneiden der Seife construiert *). Ein horizontal liegender Cylinder, der aber behufs der Füllung mit Seife in eine geneigte oder verticale Stellung gebracht werden kann, ist an dem vorderen Ende mit einer Platte verschlossen, in der sich mehrere Löcher befinden. In diesen Cylinder tritt am hinteren offenen Ende ein Kolben ein, der immer weiter in den Cylinder eingeschoben wird und so die Seife durch die Löcher der Platte herausdrängt. Die hervortretenden Seifenstücke werden dann durch ein rotirendes Messer oder durch einen sich auf- und abbewegenden Draht senkrecht zu ihrer Längsrichtung in kleinere Stücke zerschnitten. — Aus 100 Pfd. Talg erhält man in der Regel 150 bis 155 Pfd. Kernseife, die an der Luft durch Eintrocknen in der Regel noch 10 Proc. Wasser verliert. Eine wirkliche Kernseife ist aber heutzutage eine große Seltenheit, wenn sie überhaupt noch existirt; man läßt sie mit einem weit größeren Wassergehalt erkalten oder wie man es technisch nennt, man „schleift“ die Seifen. Man versteht es jetzt aus 100 Pfd. Fett über 300 Pfd. anscheinend guter und harter Seifen zu bereiten; wenn auch nicht alle Fabrikanten bis an diese äußerste Grenze gehen, so ist doch eine Ausbeute von 200 bis 220 Pfd. etwas ganz Gewöhnliches.

Das beschriebene Verfahren, die Talgkernseife zu fabriciren, nennt man das Sieden auf Leim. Fügt man aber mit der Lauge stets etwas Salz hinzu, so siedet man gleich auf den Kern. Das letztere Verfahren bietet den Vortheil, daß die Seife keinen Leim bildet, sondern stets von der Lauge getrennt bleibt und daher weder anbrennen noch mit dem Schmutze zusammensteden kann. — In neuerer

*) Polytechn. Centralbl. 1853. S. 893.

Zeit wendet man nicht mehr rohen, sondern ausgelassenen Talg an; und seitdem auch der Holzsmangel immer mehr fühlbar wird, tritt auch die Soda immer mehr in den Vordergrund, so daß man diese ältere Methode der Seifenfabrikation wohl mit der Zeit ganz verlassen wird. Das Natron bietet in Folge seines geringeren Äquivalentes noch den Vortheil, daß 2 Th. Natronhydrat eben so viel setze Säuren zu bieten vermögen als 3 Th. Kalihydrat. — In neuerer Zeit ist unter dem Namen Mineralsoda von Grönland ein Mineral, Arrolith (Al^2P^3 , 3 (Na Fl)) in großen Mengen nach Stettin gebracht, und den Berliner Seifensiedern zu dem Preise von 3 Thlr. für den Centner angeboten worden. Man hat daraus mittelst gebrannten Kalkes eine Natronlauge bereitet, die wahrscheinlich gerade wegen ihres Thonerdegehaltes sich vortreflich zur Vereitung von manchen Seifen eignet.

In den südlichen Ländern, der Heimath des Delbaumes (im südlichen Frankreich, Ober-Italien, Spanien und der nordafrikanischen Küste) ersetzt das Olivenöl den Talg. Die Fabrikation der Baumöl-Seife, spanischen, Warsceller oder venetianischen Seife, bildet in den genannten Ländern einen ausgebreiteten und blühenden Gewerbszweig. Die Brauchbarkeit des Baumöls hängt ab von der Farbe und dem Gehalt an festem Fett. Je heller also das Del und je leichter es in der Kälte gesteht, um so brauchbarer ist es. Man vermischt es in der Regel mit 5 Proc. Rohnöl. Obgleich man hierbei Natronlauge anwendet, so fällt das Ausfalzen nicht fort; es hat hier aber einen ganz anderen Zweck. Man siedet nämlich anfangs mit einer schwachen Lauge, bis die Seifenmasse vollkommen gleichförmig erscheint und eine gewisse Consistenz angenommen hat. Nun setzt man stärkere Lauge hinzu und zugleich Kochsalz, um die bedeutende Wassermenge im Kessel unschädlich zu machen. Das Kochen mit schwacher Lauge nennt man das Versieten, das mit starker das Klarsieden. Anfangs verbindet sich das noch freie Del sehr leicht mit dem Natron, aber je mehr Del bereits in Seife umgewandelt ist, um so schwerer hält es, die letzten Theile des Oeles in Seife zu verwandeln. Dies hängt besonders von dem Kochsalzzusatz ab; ist der zu groß, so ist die Seife zu dicht und trocken. Um dies gehörig zu reguliren, läßt man den Ueberrest der Lauge, oder richtiger das Wasser, sobald das Natron vollständig an die Seife getreten ist, ab und gießt neue Lauge zu. Dies wiederholt sich 4 bis 6 Mal, bis endlich die Lauge ihren vollen Stich behält, d. h. kein Natron mehr an die Seife abtritt. Nun poltert die Seife, die vorher ruhig kochte, heftig auf und bald sinkt der Schaum zusammen, ein Zeichen, daß die Seife fertig ist. Sie wird dann in lange hölzerne Formen ausgeschöpft und erlangt hier erst nach 8 bis 10 Tagen die gehörige Consistenz. — Die Kessel sind so groß, daß sie 240 Ctr. fertige Seife fassen. 100 Pfd. Del geben in der Regel 155 bis 158 Pfd. Seife.

Auch hier bereitet man entweder weiße oder marmorirte Seife. Die Marmorirung erzielt man durch Zusatz von Eisenvitriol während des Siedens. Das freie Natron zerlegt den Eisenvitriol und verwandelt ihn in schwach graues Eisenorydul-Dryd. Da nun die Soda stets Schwefel enthält, so bildet sich schwarzes Schwefeleisen, das sich an der Luft wiederum durch den Einfluß des Sauerstoffs in basischschwefelsaures Eisenoryd verwandelt, wodurch die Marmorirung eine braungelbe Farbe annimmt. — Die Delseife gehört zu den gefüllten Seifen; bei der marmorirten darf der Wassergehalt eine gewisse Grenze nicht überschreiten, bei der weißen aber steht es ganz in der Hand des Fabrikanten und oft verleiht man der Seife so viel Wasser ein, als sie überhaupt aufzunehmen vermag,

ohne die Festigkeit zu verlieren. Deshalb darf man die Seife nicht an einem warmen oder feuchten Orte aufbewahren. Um keinen Verlust durch Austrocknen des Wassers zu erleiden, bewahrt man sie auch wohl in einer concentrirten Kochsalzlösung auf.

Rapsöl liefert für sich mit Natron verseift eine schlechte, schaumige und krümlige Seife. Diese üblen Eigenschaften fallen nach Müller fort, wenn man die darin vorhandenen Oelsäuren in die entsprechenden Glaidinsäuren überführt. Dies geschieht auf folgende Weise: Man mischt in einem hölzernen Bottich dem Oele auf jeden Centner ein Pfund Scheidewasser, mit 3 bis 4 Schoppen Wasser verdünnt, zu, wirft dann einige eiserne Nägel hinein und rührt die Flüssigkeit mit einem hölzernen Stabe fleißig um, damit viel Luft mit dem Oele in Berührung kommt. Allmählig erstarrt das Oel zu einem gelben Schmalz, das nach 2 bis 3 Wochen, wenn die Consistenz nicht mehr zunimmt, in einer hölzernen Wanne mit Dampf umgeschmolzen oder direct mit Sodalaug e verseift werden kann.

Das Verhalten des Cocosnußöles ist ein anderes als das des Talges und des Olivendöles. Die Seife des ersteren läßt sich nur mit ganz concentrirter Kochsalzlösung ausfalten, d. h. von dem überschüssigen Wasser befreien, dann aber ist sie so hart, daß sie nicht geschnitten werden kann. Mit schwachen Lauge bildet das Cocosnußöl nicht jenes milchfarbige Gemisch wie Talg und Baumöl, sondern es schwimmt als klares Fett oben auf, so daß die Verseifung nur erst nach sehr langer Zeit eintritt, wenn die Lauge durch das Kochen eine gewisse Concentration erlangt hat. Nimmt man dagegen von vorne herein eine sehr concentrirte Lauge, so tritt die Verseifung sofort und zwar sehr plötzlich ein. Die Seife erhärtet so schnell, daß sich keine natürliche Marmorirung bildet. Sie ist weiß, alabastrartig, durchscheinend, leicht, schäumt gut, besitzt aber einen unangenehmen Geruch. — Das Cocosnußöl giebt an sich keine größere Ausbeute an Seife als Talg und Baumöl; indessen ist es bei weitem mehr fähig Wasser in sich aufzunehmen. Mit Leichtigkeit kann man dadurch das Gewicht der Seife um $\frac{1}{3}$ vermehren, ohne der Härte im mindesten zu schaden. — Das Verhalten der Cocosnußölseife gegen Kochsalz macht sie geeignet zum Waschen in Seewasser, ein für die Seefahrer wichtiger Umstand. Die marin-soap der Engländer ist daher nichts als eine Cocosnußölseife.

Häufig setzt man das Cocosnußöl dem Talge zu; man erzielt dadurch verschiedene Vortheile. Ein solches Gemenge verseift sich sehr leicht ohne Sieden. Man erwärmt nur bis zum Schmelzen der Fette und rührt dann fleißig um. Dieser günstige Umstand wird zum Nachtheil des Publikums nur zu häufig benutzt. Eine solche gerührte Seife steht zwar gut aus, enthält aber eine Unmasse von Wasser und alle Unreinigkeiten der Lauge. Erst nach längerem Liegen erlangt sie die gehörige Festigkeit, wobei eine starke Auswitterung von fremden Salzen statifindet.

Ähnlich wie das Cocosnußöl verhält sich auch das Ricinusöl. Es läßt sich leicht durch Zusammenrühren mit starker Natronlauge verseifen. Die Seife zeichnet sich durch eine weiße Farbe und große Durchscheinendheit aus; selbst bei einem Gehalte von 70 Proc. Wasser besitzt sie noch eine ziemliche Härte. Auf der deutschen Industrieausstellung in München war Ricinusölseife (von Stegmann in Berlin) zu sehen; doch ist das Ricinusöl noch zu theuer im Preise, um mit Vortheil und in großen Massen zur Seifenfabrikation verwendet werden zu können.

Das Palmöl wird zwar auch für sich gerade so wie Talg mit Natronlauge

versotten; am häufigsten aber dient es ungebleicht als Zusatz zur Harzseife. Die Harzseife, die sich, wie schon angeführt, sehr leicht bildet, scheidet sich bei Anwendung von Kochsalz als eine weiche, dicke, schleimige, braune Masse an der Oberfläche ab, welche stark nach Harz riecht und 15,8 Proc. trocknes Natron enthält. Der Wassergehalt beträgt zwar nur 27 bis 30 Proc., aber dennoch ist die Seife schmierig. Sie erhärtet auch nicht an der Luft, weil sie das Wasser aus derselben anzieht. Um diese üble Eigenschaft zu heben, setzt man Talg oder Palmöl zu, doch darf das Harz nur $\frac{1}{3}$ von den letzteren betragen. — Die Harzseife stammt aus England und Amerika. Sie besitzt eine bräunliche Farbe; ist sie mit Palmöl bereitet, so sieht sie dem gelben Wachs sehr ähnlich. Sie ist fest, etwas raub anzufühlen und stark durchscheinend. Sie schäumt sehr gut, behält aber stets den Harzgeruch; sie ist aber wohlfeil und deshalb auch für grobe Wäsche sehr geeignet.

Bei der Fabrication des sogenannten Maschinenpapiers wird Harzseife in großen Massen statt des früher gebräuchlichen thierischen Leimes verbraucht. Bei der Bereitung der Harzseife ist es wesentlich, daß sich das Harz in der siedenden alkalischen Flüssigkeit vollständig auflöst; man muß daher einen Ueberschuß von Harz sorgfältig vermeiden, während ein geringer Ueberschuß von Alkali keine Nachteile mit sich führt. Man kocht 300 Pfund Harz 8 Stunden lang mit 180 Quart Wasser und setzt dann 45 Pfd. krystallisierte Soda zu. Beim weiteren Kochen setzt man je nach der Beschaffenheit des Harzes noch 20 bis 45 Pfd. krystallisierte Soda zu, bis alles Harz in Seife verwandelt ist, was man leicht an der Gleichartigkeit der ganzen Masse erkennt. 300 Pfd. Harz liefern in der Regel 550 bis 600 Pfd. Harzseife.

Während man die harten Seifen in der Regel als ein Gemenge von Stearin-, palmitin-, corin- und ölsäurem Natron ansehen kann, bilden die Kaliseifen mehr eine Auflösung des ölsäuren Kalis in Lauge, welche bei gewöhnlicher Temperatur eine durchsichtige, schmierige Gallerte bilden. Da man diese Seife begreiflicherweise nicht ausfalten kann, so wendet man in der Regel, um die Seife nicht zu sehr zu verunreinigen, statt der Lauge aus Holzasche mehr reinere Lauge aus Pottasche an und zwar in verschiedenen Stärken. Die schwächere (Verbindungsauge) ist vollkommen lausisch, die stärkere (Sprengauge) enthält jedoch kohlensaures Salz, wodurch das Sieden erleichtert wird.

In der Regel wendet man hierzu wohlfeile Oele an, die weniger feste Fettsäuren enthalten, als das Baumöl; solche sind Hanf-, Lein- oder Mohnöl, die noch nicht bei 0° erstarren und Fischthran und Rapsöl, die bei 0° erstarren. Erstere liefern eine weichere, letztere eine festere Seife. Zunächst siedet man das Oel mit einer schwächeren Lauge, bis eine vollständige Vereinigung vor sich gegangen ist. Dann folgt das Klarsieden mit stärkerer Lauge, bis die Seife als ein klarer, durchsichtiger Leim erscheint. Ob die chemische Verbindung vollständig erfolgt ist, erkennt der Praktiker an einer eigenthümlichen Probe. Man bringt ein wenig Seife auf ein reines Stück Glas und läßt sie erkalten; bleibt die Masse klar, so ist die Seife fertig, zeigt sich aber an der Peripherie ein grauer Streifen, so fehlt es an Lauge und zwar je mehr, je breiter der ringförmige Streifen ist. Hat man dagegen zu viel Lauge zugesetzt, so überzieht sich die ganze Probe mit einer grauen Haut.

Man giebt der Schmierseife häufig durch Zusatz von etwas Talg ein soge-

nanntes Korn, indem dadurch feinkörnige krystallinische Ausscheidungen von Stearin- und palmitinsäurem Kali entstehen. Das Korngeben gelingt aber nur bei bestimmten Wärmegraden (zwischen 9 und 15°), kann also im Sommer nicht erzielt werden. Einen wirklichen Nutzen gewährt das Vorhandensein des Kornes auch nicht, aber die Hausfrauen glauben es und deshalb sucht man das natürliche Korn durch ein künstliches mittelst Kalk oder Stärke zu ersetzen. Ebenso ist die Farbe der Schmierseife, ob grün oder schwarz, auch nicht wesentlich; aber dennoch hat jede Farbe ihre besonderen Liebhaber. Ein natürliches Grün ertheilt das Hanföl der Seife; die gelbe Schmierseife wird durch Indigblau und durch Tinte (eine Auflösung von Eisenvitriol in einer Abkochung von Galläpfeln) schwarz gefärbt.

Alle Schmierseifen reagieren stark alkalisch und zeigen daher beim Waschen eine große Wirksamkeit. Häufiger aber verwendet man sie beim Bleichen der Leinwand. Die Schmierseifen besitzen alle einen widerlichen Geruch, der natürlich je nach dem Fette, woraus die Seife bereitet, verschieden ist. Am stärksten tritt er bei den Thranseifen auf. In der Regel enthalten die Schmierseifen 50 Proc. Wasser und mehr. Sie sind überdies sehr hygroskopisch, so daß sie sogar an der Luft zerfließen.

Die Seife findet ihre Hauptverwendung als Reinigungsmittel der menschlichen Haut, der Wäsche, der Luche, Wollenzuge, beim Bleichen, dann als Schmiermittel um die Reibung zu verhindern, zur Darstellung lithographischer Tinte u. Die Wirkung der Seife beim Waschen besteht darin, daß die Seife beim Auflösen in Wasser sich zerlegt; es bilden sich saure Stearin- und palmitinsäure Salze und ein Theil des Alkali wird frei. Durch letzteres wird die Unreinigkeit von der Haut oder von der Faser entfernt; die fettsauren Salze hüllen dann die Unreinigkeiten ein und verhindern deren Fällung. — Die Ursachen des Wundwerdens der Hände der waschenden Frauen sind nicht gehörig bekannt. Diese Verwundungen, die mitunter erheblich sind, treten ein, wenn man übermäßig lange Zeit die Hände dem Seifenwasser aussetzt. Schröder hat, um die Ursache dieses Abwagens der Haut zu erforschen, verschiedene Seifen untersucht und gefunden, daß eine Cocoseife, die am wenigsten Alkali enthält, die ärgendste war und auf der Zunge und Haut ein lebhaftes Brennen erzeugte.

Während die Fette täglich im Preise steigen, werden die Seifen immer billiger. Ein höchst sonderbarer Umstand, von dem unsere Hausfrauen wenig Notiz genommen haben oder dem sie nicht gehörig auf den Grund gegangen sind, denn sonst würde sich ihre Freude über die wenigen eriparten Groschen sehr bald in großes Leid umgewandelt haben. Thatsächlich unterliegt keines von den Erzeugnissen, die für das alltägliche Leben unentbehrlich sind, in einem so großartigen Maßstabe der Verfälschung wie gerade die Seife. Der große Uebelstand hat sich erst herausgestellt, seitdem die Seifenfiederei aus den Händen der kleinen Handwerker in die der Fabrikanten übergegangen ist. Neben den Fortschritten erzeugt die Concurrenz auch Mißgeburten, aber daran ist das Publikum größtentheils mit Schuld. Das sind die Früchte der billigen Preise, die man durchaus beansprucht, ohne daran zu denken, daß ein wohlfeiler Kauf stets ein theurer ist. Die Seifenfabrikanten sind indessen noch dem Publikum vorausgeeilt und es hat ganz den Anschein, als hätte man allen Scharfsinn nur darauf verwendet, die Seife zu verschlechtern. Vor der Wissenschaft aber wird alle Schlaubeit der Fabrikanten zu

Schanden. Welchen Scharfsinn sie auch anwenden mögen, um das Publikum zu übervorthellen, so versteht es die Chemie doch meisterhaft, der Heuchelei die Maske zu entreißen. Wollten daher die Consumenten denselben Scharfsinn anwenden, um sich vor Übervorthellung zu sichern, als die Fabrikanten, um ihren Gewinn unrechtmäßigerweise zu vermehren, so würden die Mißgeburten der Industrie nach sehr kurzer Zeit ihr gebrandmarktes Leben aushauchen. Mit Unwissenheit kann sich das Publikum heutiges Tages nicht mehr entschuldigen, da die Wissenschaft mit freigebiger Hand ihre Schätze austreut und sich bestrebt, diese zum Gemeingute Aller zu machen. Es fehlt also nur an Energie; deshalb hat man hier bereits den Schutz der Polizei angerufen, wie dies dem Deutschen so sehr eigen ist. Man hat bereits im Ernste verlangt, daß ebenso wie gesetzliche Bestimmungen über erlaubte und nicht erlaubte Zusätze zu den edlen Metallen und zum Zinn bestehen, solche auch über den Gehalt der Kernseife und der gefüllten Seifen zu erlassen.

Für ein geübtes Auge ist es leicht, eine gute Seife von einer übermäßig gefüllten zu unterscheiden an der Beschaffenheit des Bruches. Bei Kernseifen ist er stets körnig oder faserig, bei den gefüllten speckig. Die Härte der Seife entscheidet hier nicht. Für den Laien werden die übermäßig geschliffenen Seifen sehr leicht durch die Salzauswitterungen und das Schwinden der Form beim längeren Aufbewahren kenntlich. Wollte man sich indessen bequemen, sich nur einige wenige chemische Manipulationen anzueignen, so würde man sehr leicht den Werth einer jeden Seife genau bestimmen können. Den Wassergehalt der Seifen zu bestimmen ist nicht schwer. Mit einiger Geduld ist es jede Hausfrau im Stande. Man braucht nur etwa ein Loth von der Seife in feine Späne zu schneiden und diese in einem beliebigen Gefäß, das vorher genau gewogen worden ist, auf dem Ofen so weit auszutrocknen, bis keine Gewichtsabnahme mehr stattfindet. Der Verlust giebt das Wasser an. Diese sehr einfache und leichte Art der Untersuchung wird aber dadurch unsicher, daß es Jedem, der in chemischen Untersuchungen nicht geübt ist, anfangs schwer fällt, das Wasser vollständig auszutreiben, ohne daß die Seife anbrennt. Außerdem werden auf diesem Wege andere fremdartige Beimengungen (überschüssiges Natron und andere Salze) nicht bestimmt, sondern fälschlich als Seife in Rechnung gesetzt. In Bezug auf letztere hält es sehr schwer, eine normale Grenze festzustellen; ganz vermeiden lassen sich die Beimengungen nicht. Nur erst, wenn sie 5 Proc. übersteigen, kann man von einer Verfälschung oder wenigstens von einer sehr nachlässigen Bereitung der Seife reden.

Außerdem hat die Leichtfertigkeit der Industrie noch zu zahlreichen sogenannten Entdeckungen geführt, deren Nutzen allein darin besteht, daß sie den Beutel des Fabrikanten bereichern. Zu diesen Producten gehört die sogenannte Knochenseife. Man verleiht einer gewöhnlichen Seife entweder die thierische Gallerte oder die ganze Knochenmasse ein. Im ersteren Falle zieht man den phosphorsauren Kalk aus den Knochen durch Salzsäure aus; im letzteren behandelt man die Knochen mit starker Lauge, wodurch die thierische Gallerte entfernt und der Knochen mit der Zeit so mürbe wird, daß er zerrieben werden kann. Eine solche Seife zeigt nichts von Kern und Fluß; sie erscheint auf dem Schnitt von dunkelbrauner Farbe, aber nicht durchscheinend wie Harzseife. Sie besitzt einen höchst widerwärtigen Feimgeruch, löst sich leicht in heißem Wasser unter Zurücklassung der erdigen Theile und schäumt gut. Die eigentliche Seife kann man durch

Kochsalz leicht ab scheiden und dem Gewichte nach bestimmen. Desgleichen benutzt man auch die Eingeweide von Schlachthieren, Abfälle von Häuten, Sehnen, Klauen, selbst Fische.

Eine andere Klasse dieser vermeintlichen Erfindungen bilden Seifen, denen man gewisse reinigende Mineralstoffe, wie z. B. Kieselerde, Bimstein, Thon- oder Talkerde u. zusetzt. Für gewisse Zwecke thun diese Beimengungen ihre guten Dienste und würde man sich dafür nicht den Preis der Seife bezahlen lassen, so könnte man diese Fabrikate nicht als Verfälschungen bezeichnen. Diese Verunreinigungen bleiben zurück, wenn man die Seife in Weingeist auflöst. Kar-marisch fand in einer solchen Seife 75 Proc. Sand und in anderen 19,7; 22,9 und 26,2 Proc. Bimstein oder Feuersteinmehl. In neuerer Zeit mischt man den Seifen auch kieseläures Kali oder Natron (Wasserglas) bei. Doch vertragen die harten Talg- oder Olivenölseifen diese Beimischungen nur in einem geringeren Grade, da bei größeren Mengen ein Ausfalten eintritt. Anders verhalten sich die Schmier- und Cocosnußölseifen. Den ersteren kann man ohne auffallende Erscheinung ein bedeutendes Quantum kieseläures Kali beimischen und die Cocosnußölseife zeigt bei 24 Proc. kieseläurem Natron und 50 Proc. Wasser noch eine merkwürdige Härte. In neuester Zeit hat man gefunden, daß das Wasserglas die Stelle der Seife beim Waschen vertreten kann; dadurch wird diese Beimischung zwar weniger schädlich, aber auch durchaus unnöthig. Eine grobe Verfälschung bleibt sie aber immer, da man sich das Wasserglas in der Seife ungleich theurer bezahlen läßt.

Bohl berichtet von einer Seife, die bis zu 10 Proc. mit Stärkemehl verfälscht war *). Die Seife wird auf kaltem Wege bereitet durch Vermischen von 40 Pfd. Aegnatronlauge von 1,145 spec. Gewicht und 60 Pfd. Schweinefett oder einer Mischung von Schweinefett und Fischtran, wozu gleich von vorne herein die Stärke zugelegt und durch Rühren die Verbindung bewirkt wird. Kräftig bereitet sieht die Seife schön weiß aus, beim Austrocknen wird sie braun, durch Jodtinctur läßt sich die Stärke erkennen. Auch Kiege l berichtet über die Verfälschung einer venetianischen Seife mit 7,5 Proc. Stärke **).

Im Folgenden geben wir einige Methoden der Untersuchung, um die Seifen auf ihren Werth zu prüfen. Witzstein empfiehlt ***) ein Verfahren, welches Dumas in seinem Handbuch der angewandten Chemie beschreibt, als das beste. Beim Auflösen in Weingeist darf eine gute Seife nicht mehr als 1 Proc. ungelöste Theile hinterlassen. Zur Bestimmung des Wassers schneidet man von der Oberfläche und aus der Mitte schmale Streifen, die man bei 100° C. trocknet. Der Verlust giebt das Wasser an. Die Menge des Alkalis erfährt man durch Neutralisation mit verdünnter Schwefelsäure. Um die Menge der fettigen Stoffe zu bestimmen, setzt man zu der mit Schwefelsäure gesättigten Seifenlösung eine genau gewogene Wachsmenge hinzu und erhitzt, bis Alles geschmolzen ist. Die Gewichtszunahme des nach dem Erkalten erstarrten Wachsfuchens giebt die Menge der Fettsäuren an. Oft enthalten die Seifen freies (kohlensäures) Alkali oder Fett.

*) Sitzungsber. d. Wiener Akad. Math. naturw. Kl. 1851 S. 582.

**) A. Jahrb. d. Pharm. Bd. III. Heft 3.

***) Vierteljahrsschrift Bd. II. Heft 4.

Beides bestimmt man auf folgende Weise. Man löst eine Portion Seife in Weingeist von 80 Proc.; bleibt kein Rückstand, so ist auch kein freies Alkali zugegen. Bleibt ein Rückstand, so bringt man diesen auf ein Filter, wäscht ihn erst mit starkem Weingeist aus und dann mit Wasser. Nimmt dieses eine alkalische Reaction an, so sättigt man mit verdünnter Schwefelsäure. Um freies Fett nachzuweisen, löst man die Seife in 8 Th. Weingeist von 30 Proc. Das freie Fett scheidet sich ab und schwimmt nach dem Erkalten über der gelatinirenden Seifenlösung.

Seeren theilt ein Verfahren mit *), das selbst von Nichtchemikern leicht ausgeführt werden kann. Es zielt nur dahin, den Fettgehalt, also die Menge der reinen Seifensubstanz, welche ja den merkantilen Werth einer Seife bestimmt, zu ermitteln. Außer einer kleinen, ziemlich empfindlichen Waage und zugehörigem Gewicht bedarf man nur eines recht großen Uhrglases und einer Porzellantasse. Das Gewicht des Uhrglases wird ein für allemal bestimmt. Die Seife wird in Späne geschnitten, wovon man etwa 60 Gran (1 Quentchen) genau abwägt, in die Tasse schüttet und mit etwa 4 Eßlöffeln Regenwasser übergießt. Durch Anwendung von Wärme löst man die Seife auf, gießt dann etwa 20 Tropfen Salzsäure hinzu und läßt so lange in der Wärme stehen, bis sich das abgeschiedene Fett als klares Oel auf der Oberfläche gesammelt hat. Nun setzt man 60 Gran weißes Wachs hinzu, läßt dieses gleichfalls schmelzen und dann das Ganze erkalten. Den erstarrten Kuchen befreit man durch Löschpapier von dem anhängenden Wasser, bringt ihn in das tarirte Uhrglas und fügt auch das hinzu, was etwa an den Wänden der Tasse sitzen sollte. Dann schmilzt man das Ganze, um das im Innern des Kuchens vielleicht enthalten gewesene Wasser zum Vorschein zu bringen. Man verjagt dasselbe durch Kochen und wägt nun.

Wollte man aus der so gefundenen Fettmasse geradezu die Menge des zur Seife verwendeten Fettes berechnen, so würde man einen kleinen Fehler begehen, weil das Fett bei der Verseifung eine Zersetzung erfährt, die mit einem Gewichtsverlust (etwa $\frac{1}{20}$) verbunden ist. Man addirt daher zu der gefundenen Menge Fett den neunzehnten Theil. Von guten, obwohl frischen Kernseifen muß man 61 bis 63 Proc. Fettmasse erhalten. 43 bis 47 Proc. entsprechen einer ziemlich schlechten Seife. Eine gute, längere Zeit aufbewahrte Seife gab 54 Proc. und dies sollte als Norm angenommen werden. Eine gute aus ungebleichtem Palmöl und Harz dargestellte Seife lieferte 52 Proc. Fettmasse.

Müller's Methode, den Handelswerth der Seifen zu bestimmen **), gilt zunächst für die häufiger vorkommenden Natronseifen, läßt sich jedoch mit entsprechender Veränderung leicht auf Seifen mit anderer Basis übertragen. 2 bis 3 Grm. Seife werden in einem tarirten Becherglas durch 80 bis 100 Cubikcent. Wasser gelöst und dazu nach und nach muthmaßlich die 3- bis 4-fach größere Menge verdünnte Schwefelsäure, als zur Zersetzung der Seife nöthig ist, gegossen. Hat sich die Fettschicht klar abgehebt, so läßt man sie erkalten, bringt dann das Ganze auf ein vorher bei 100° getrocknetes und gewogenes, nun aber befeuchtetes Filter und wäscht mit Wasser, bis die saure Reaction verschwunden ist. Das nun leere

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVII. S. 312.

**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVII. S. 451.

Becherglas trocknet man vollständig und fängt darin die reine Fettsäure auf; das Mehrgewicht desselben bleibt nach Abzug des Filters die Menge der Fettsäure an. Das zum Marmoriren der Seife dienende Eisenoryd bestimmt man leicht durch Verbrennen des Filters. Die von der Fettsäure abgelaufene Flüssigkeit färbt man mit Lackmustrinctur und versetzt sie bis zur eintretenden Farbenveränderung mit einer titrirten alkalischen Flüssigkeit. Aus der Differenz der auf die früher zugegoßene Schwefelsäure berechneten und der jetzt verbrauchten Menge der Alkalilösung ergiebt sich leicht der Gehalt an wirksamem Alkali in der Seife. Will man das der Seife beigemengte Chlornatrium und schwefelsaure Natron bestimmen, so verdampft man die neutrale Flüssigkeit und glüht sie vorsichtig. Der Rückstand enthält nun das in der Seife ursprünglich enthalten gewesene schwefelsaure Natron und Chlornatrium und das bei der Untersuchung gebildete schwefelsaure Natron. Glüht man mit Schwefelsäurehydrat, so wird das Chlornatrium in schwefelsaures Natron verwandelt. Aus der Gewichtszunahme läßt sich nun das Chlornatrium berechnen. Das ursprüngliche schwefelsaure Natron wird endlich gefunden durch Abziehen des bei der Untersuchung gebildeten und berechneten Chlornatrium von dem Gewicht des ersten Glührückstandes. Die Differenz zwischen Fettsäure und Alkali und der zur Untersuchung verwendeten Seife ergiebt den Wassergehalt.

Bolley versetzt *) etwa 1 Grm. der zu untersuchenden Seife in einem kleinen Becherglase mit Aether und Essigsäure, wo sich schnell zwei Schichten bilden, deren obere ätherische die fette Säure oder das Harz, die untere wässrige das essig. Alkali und die Salze der Seife enthält, während unlösliche Beimengungen je nach ihrer Beschaffenheit in verschiedener Form abgeschieden sind. Mit Hülfe einer Pipette werden beide Flüssigkeitsschichten von einander getrennt, die ätherische Lösung im tarirten Bechergläschen über dem Wasserbade verdunstet und die rückständige Fettsäure oder das Harz gewogen. Die wässrige Flüssigkeit wird in einer Platin-schale zur Trockne verdunstet, geglüht und der Gehalt an Alkali (Kochsalz und Glaubersalz) nach bekannten Methoden ermittelt.

Hoffentlich ist die Zeit, wo die Seife ebenso wie Spiritus, Soda oder Indigo nur nach dem wirklichen Procentgehalt verkauft werden wird, nicht mehr so fern. Es liegt einmal in der Natur der Sache, daß der Mißbrauch auf seiner abschüssigen Bahn nie inne halten kann, sondern so lange stets vorwärts getrieben wird, bis er selbst die Mittel zu seinem Abthun liefert. Ist man dann einmal zur Erkenntniß des Uebels gekommen, so wird man auch die Sehen vor einigen geringfügigen chemischen Operationen überwinden, zumal das praktische Leben bei anderen Gelegenheiten bereits den großen Nutzen derselben erkannt und sich deshalb mit ihnen bereits mehr vertraut gemacht hat.

Für den praktischen Gebrauch ist noch ein anderer Umstand von der größten Wichtigkeit. Die Seife muß eben so beschaffen sein, daß sie beim Gebrauch nur gerade so viel abgiebt, als zur Erreichung des speciellen Zweckes, z. B. beim Einseifen der Wäsche oder der Hautfläche erforderlich ist. Hiervon hängt der Verbrauch an Seife mehr ab als von der größeren oder geringeren Verunreinigung der Wäsche. Auch aus diesem Grunde sind die geschliffenen, gesülten und gerührten Seifen zu verdammen; durch das Uebermaß an Wasser, Lauge oder Kochsalz

* Handbuch der technisch-chemischen Untersuchungen. Fraunfeld 1853. S. 339.

wird der Zusammenhang der einzelnen Seifentheilechen zu sehr gelockert und man verbraucht deshalb viel mehr, als gerade nothwendig ist. Die Seife darf indessen auch nicht zu wenig Wasser enthalten; dadurch wird sie zu hart und man verbraucht zu viel Zeit, bevor man die nöthige Menge Seife abgerieben hat. Also auch hier empfiehlt sich die goldene Mittelstraße im Wassergehalte als die beste. Ist die Seife zu trocken, so kann man sie durch Aufbewahren an einem feuchten Orte verbessern; umgekehrt verliert die geschliffene Seife zwar an einem trocknen Orte einen Theil des Wassers, aber nicht das Uebermaß von Lauge und Kochsalz.

Die Fabrikation von Toiletteseifen hat auch bereits in Deutschland einen solchen Aufschwung erfahren, daß wir hier nicht stillschweigend darüber hinweggehen können. Die deutsche Industrieausstellung zu München hat den Beweis geliefert, daß die besseren deutschen Fabriken Toiletteseifen liefern, welche weder in Qualität, noch in geschmackvoller Verzierung und Ausstattung hinter den besten französischen zurückstehen. Die Sucht der Deutschen, die einheimischen Erzeugnisse gering zu schätzen und die ausländischen, namentlich französischen über die Gebühr zu erheben, erkennt freilich auch jetzt wohl noch den französischen Toiletteseifen die Ueberlegenheit, die sie vor Jahren allerdings mit Recht besaßen, zu. In wie großem Maßstabe diese Seifen bereitet werden, davon giebt die Kron'sche Fabrik in München, eine der ältesten und größten in Deutschland, Zeugniß. Sie verarbeitet jährlich 800 bis 1000 Ctr. Cocosnußöl und fertigt wöchentlich 1000 Duzend Seifen, welche zum Theil ins ferne Ausland versendet werden.

Die Toiletteseifen sind in der Hauptsache nichts anderes als gewöhnliche Seifen, denen man wohlriechende Oele und Farbstoffe zusetzt und verschiedene zierliche Formen giebt. Als Grundlage dienen außer den gewöhnlichen Baumöl-, Talg-, Palmöl-, Cocosnußölseifen auch solche aus Schweinefett, Mandelöl und anderen Oelen, die für den gewöhnlichen Gebrauch zu theuer sind. Das Schweinefett giebt eine sehr weiße Seife, die zu der Klasse der gerührten zählt, da das Fett bei einer Temperatur von 65° C. mit einer Lauge von 36° R. ohne alles Ausfalten bereitet wird.

Die Umwandlung der gewöhnlichen Seifen in parfümirte ist sehr leicht. Die Seife wird in kleine und dünne Späne zerschnitten, indem man die Seife gegen einen festgespannten Draht andrückt. Das Zerkleinern der Seife erleichtert das Schmelzen derselben. Letzteres bewirkt man mit Hülfe von sehr wenig Wasser in einem Kessel, der durch ein Wasserbad oder durch Dampf erwärmt wird. Um die Bildung von Klumpen zu verhindern oder um beim Schmelzen verschiedener Seifen eine gleichförmige Mischung zu erzielen, rührt man die Masse fleißig. Ist die Seife geschmolzen, so setzt man zuerst, falls sie gefärbt werden soll, die Farbstoffe zu und dann die ätherischen Oele. Die fertige Seife bringt man in den Tafelformkasten, der aus mehreren, genau auf einander passenden viereckigen Rahmen aufgebaut wird. Nach dem Erkalten entfernt man einen Rahmen nach dem andern und schneidet die jedesmal hervorstehende Seifentafel mittelst eines Drahtes ab. Die Tafeln zerschneidet man mit Hülfe einer Form, die ebenso hoch ist als die Tafel breit und ebenso breit als diese dick, in Stangen und diese wieder in Würfel.

In den großen Fabriken hat man zweckmäßigere Vorrichtungen, die nicht so viel Zeit in Anspruch nehmen.

Aus den Würfeln bereitet man mit Hülfe einer Presse, die den gewöhnlichen Stempelpressen ähnlich ist, flache Seifenstücke. Die Seifenkugeln schneidet man aus freier Hand mit Hülfe eines ringförmigen, schneidenden Instrumentes, welches den Namen Seifenschaufel oder Seifenlöffel führt. Oder man fabricirt die Kugeln auch mittelst der Presse, so wie die bekannten Früchte und Figuren in passenden Formen. Die Früchte und Figuren aus Seife taucht man in geschmolzenes Wachs und malt sie dann an. Zum Waschen dienen diese Seifen nicht.

Der Werth der Toiletteseifen ist abhängig von der Reinheit der Rohmaterialien, der vollkommenen Farblosigkeit oder schönen Färbung, dem Wohlgeruche, der angenehm und nachhaltig sein muß, und der gefälligen und handlichen Form, die sich beim Aufbewahren nicht verändern darf. Diese Seifen dürfen kein freies Alkali oder Kochsalz enthalten, die Haut nicht rauh machen und müssen beim Gebrauch schnell einen nicht zu reichlichen und großbläsigen Schaum geben. — Zu Bartseifen verwendet man auch weiche, also Kaliseifen, die oft gleichfalls parfümirt werden.

Die Concurrenz, bei der es immer einer dem anderen zuvor thun will, hat eine Unzahl von parfümirten Seifen geschaffen. Wir begnügen uns daher nur auf die Bereitung einiger näher einzugehen. Die Mandelseife wird bereitet durch Zusammenschmelzen von einem Centner Talgkernseife mit 14 Pfd. Delseife und 14 Pfd. Cocodnußölsodaseife. Dann parfümirt man mit $1\frac{1}{2}$ Pfd. Bittermandelöl, $\frac{1}{4}$ Pfd. Nelkenöl und $\frac{1}{2}$ Pfd. Kümmelöl. — Kampferseife: 28 Pfd. Talgkernseife, $1\frac{1}{4}$ Pfd. Kampfer und eben so viel Rosmarinöl. — Weiße Windsorseife: 1 Centner Talgkernseife, 21 Pfd. Cocodnußölsodaseife, 14 Pfd. Delseife, $1\frac{1}{2}$ Pfd. Kümmelöl, $\frac{1}{2}$ Pfd. Thymianöl, eben so viel Rosmarinöl, $\frac{1}{4}$ Pfd. Kaistöl und eben so viel Nelkenöl. Oder man verseift 40 Pfd. Talg und 15 bis 20 Pfd. Olivenöl mit Natronlauge, läßt die Seife durch Stehen im Kessel sich von der Lauge sondern, bringt sie dann in eine flache Form und drückt sie so lange, bis sich kein Fluß mehr zeigt, damit sie sich nicht marmorirt. Als Parfüm für die angegebene Menge dienen 20 Loth Kümmelöl, 12 Loth Bergamottöl, 6 Loth Lavendelöl, 2 Loth spanisches Hopfenöl und 6 Loth Thymianöl. Man liebt diese Seife auch von brauner Farbe; diese erzielt man durch gebrannten Zucker, den sogenannten Karamel, der die Seife milde macht und der Haut nicht nachtheilig ist.

Die feinsten und theuersten Seifen sind die sogenannten gestoßenen; bei diesen erfolgt die Parfümierung auf kaltem Wege, weil die den feinsten Geruch verbreitenden Oele durch die Wärme verändert werden. Will man kleinere Mengen parfümiren, so zerkleinert man die Seife durch einen Hobel, der über einem Marmor- oder Serpentinmörser liegt, so daß die Späne gleich in den Mörser fallen. Frisch bereitete Seife besitzt gerade den richtigen Wassergehalt; hat die Seife aber bereits längere Zeit gelagert, so besprengt man die Späne auf jedes Pfund mit 2 bis 6 Loth Wasser. Nach 24 Stunden ist das Wasser von der Seife absorbirt, dann sprengt man das Parfüm darüber und bearbeitet die Masse tüchtig mit einem hölzernen Pfistill. Bei größeren Seifenmassen bedient man sich einer Mühle, die

gerade so construirt ist, wie die Chocoladenmühle. Ist Alles gut unter einander gewirkt und die Masse ohne Klumpen, so wiegt man bestimmte Portionen von der Seife ab, formt diese mit der Hand zu eiförmigen Kuchen, läßt diese auf Papier trocknen und formt sie dann mit Hülfe der Presse.

Besonders diese Seifen werden gefärbt; rosenroth durch Cochenille, grün eine gelbe Seife aus Palmöl und Talg durch Smalte, blau durch Smalte, braun durch Karamel. Die Zusammensetzung einiger dieser Seifen führen wir hier an. Rosenseife: $4\frac{1}{2}$ Pfd. rosenroth gefärbte Seife, 4 Loth Moschusextract, 2 Loth Rosenöl, $\frac{1}{2}$ Loth Sandelholzöl und eben so viel Rosenblattgeraniumöl. Moschusseife: 5 Pfd. blaßbraun gefärbte Seife, $\frac{1}{2}$ Loth Moschus und 2 Loth Bergamottöl. Orangenblüthseife: auf jedes Pfd. Seife 1 Loth Neroliöl. Sandelholzseife: 7 Pfd. Seife, 14 Loth Sandelholzöl und 4 Loth Bergamottöl. Wallrathseife: 14 Pfd. Seife, $2\frac{1}{4}$ Pfd. Bergamottöl und $\frac{1}{2}$ Pfd. Limonienöl. Citronenseife: 6 Pfd. Seife, $\frac{3}{4}$ Pfd. Citronenöl, 8 Loth Bergamottöl, 4 Loth Limonienöl und 1 Loth Citronengrasöl. Dies ist eine der besten und feinsten Seifen, die gemacht wird. — Bathoulliseife: $4\frac{1}{2}$ Pfd. Seife, 2 Loth Bathoullöl, $\frac{1}{2}$ Loth Sandelholzöl und $\frac{1}{2}$ Loth Vetiveröl.

Die Verfertigung der transparenten Seifen war früher ein tiefes Geheimniß, das durch die Verbreitung chemischer Kenntnisse ganz offenkundig geworden ist. Man trocknet die zerkleinerte Seife vollständig aus und löst sie dann in Weingeist auf. Das Ungelöste wird durch Filtriren entfernt und dann so viel Weingeist abdestillirt, bis der Rückstand nach dem Erkalten in Blechformen erstarrt. Die Seife ist ausgezeichnet schön durchscheinend, während eine concentrirte wässerige Lösung der Seife nach dem Erkalten durch theilweises Krystallisiren undurchsichtig wird. Dafür sind aber diese Seifen in der Regel sehr hart und schwer schäumend. — Weiche durchscheinende Seifen bereitet man auf folgende Art. Man dampft 6 Pfd. Kalilauge, die 7 Proc. reines Kali enthält, auf die Hälfte ein, setzt dann 1 Pfd. Olivenöl zu und zu der fertigen Seife das Parfüm. Durch ruhiges Stehen läßt man die Lauge sich absondern.

Die sogenannten Schaumseifen können aus allen Seifen mit Ausnahme der aus Schweinefett bereitet werden, indem man die Seife in ungefähr $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{6}$ Wasser auflöst und dann so lange mit einem Rührapparat peitscht, bis der Schaum auf die doppelte Höhe der Lösung gestiegen ist, worauf man ihn in Formen füllt. — Ferner gehören hierher die sogenannte Seifencreme. Die Mandelseifencreme ist ein perlmutterglänzendes Präparat, dessen Hauptbestandtheil eine weiche Schweinefettseife ist. Diese wird mit einer Auflösung von $\frac{1}{2}$ Loth Bittermandelöl in 6 Loth starkem Weingeist gemischt. Durch langes Reiben in einem Mörser wird das perlmutterglänzende Ansehen erzielt. Sie dient theils als Bartseife theils zur Bereitung der Emulsionen, die nicht mehr in die Klasse der Seifen, sondern in die der Schönheitsmittel gehören. — Seifenpulver benutzt man als Zahnpulver oder als Barbiermittel. Die Seife wird erst gehobelt, dann vollständig ausgetrocknet, in einer Mühle gemahlen und parfümirt.

Eine gute Fleckseife, die man bei allen farbigen, namentlich auch Seidenzeugen anwenden kann, bereitet man auf folgende Art. Man löst 32 Loth weiße Seife in 3 Schoppen Ochsen-galle und seht das Ganze unter Umrühren so lange

der Wärme aus, bis eine Probe beim Erkalten erstarrt. Dann setzt man 2 Loth Honig, 3 Loth Zucker, $1\frac{1}{2}$ Loth venetianischen Terpentin und 4 Loth Ammoniak hinzu und formt Kugeln aus der Masse.

Die Verseifung der Fette bildet auch die Grundlage eines zweiten bedeutenden Industriezweiges. Man bedient sich ihrer zur Abscheidung der festen fetten Säuren behufs der Kerzenfabrikation. Man verseift die Fette, zumeist Talg, durch eine starke, aber sehr billige Base, den Kalk, um zunächst das Glyceroloryd abzuscheiden. Die Verseifung wird in großen hölzernen, innen mit Bleiplatten ausgefütterten Gefäßen vorgenommen und die Erwärmung durch Dampf bewirkt. Um ganz sicher zu gehen, nimmt man 14 Proc. Kalk mehr, als die Rechnung erfordert. Rührt man fortwährend um, so ist die Verseifung in einigen Stunden vollendet. Die Kalkseife ist in Wasser unlöslich, schwimmt also darauf als eine graue, krümelige Masse. Dann trägt man die Kalkseife in eine andere bereits heißes Wasser enthaltende Kufe über und zerlegt sie durch Schwefelsäure. Es scheidet sich unlöslicher schwefelsaurer Kalk (Gyps) ab, der zum Theil als Dünger verwerthet wird, und die fetten Säuren (ein Gemisch von Del-, Stearin- und Palmitinsäure) schwimmen obenauf. Nach dem Erkalten trennt man die flüssigen Delsäuren durch starkes Pressen. Um den bedeutenden Abfall der Delsäure bestens zu verwerthen, verbindet man in der Regel die Fabrikation der Kerzen mit der der Seifen.

Milly, der älteste Stearinkerzenfabrikant, hat der Jury der allgemeinen Industrieausstellung zu Paris eine sehr wichtige Abänderung des Verfahrens zum Verseifen des Talges durch Kalkhydrat mitgetheilt. Nachdem er schon lange den Kalkzusatz auf 9 Proc. des Talges vermindert, hat er gefunden, daß selbst 4 Proc. ausreichen, vorausgesetzt, daß man bei der Verseifung eine höhere Temperatur anwendet. Dadurch wird offenbar eine große Ersparniß erzielt, da zur Zerlegung der Kalkseife bedeutend weniger Schwefelsäure erforderlich ist. Belouze hat diese Art der Verseifung näher untersucht *) und hierbei gefunden, daß die Seifen gerade so wie die starken Basen die Fette in Fettsäuren und Glycerin zerlegen. Das Wasser wirkt bei dieser Temperatur nicht auf die Fette ein, sondern erst bei 220° C. und bedarf dann zur Zerlegung der Fette längere Zeit. Das Wasser zerlegt bei 150 bis 160° C. die neutrale Seife in eine saure und eine sehr basische Seife und letztere wirkt dann auf eine neue Menge Fett gerade so wie freies Alkali.

Gambacères hat an der Stelle des Kalkes die Thonerde in Vorschlag gebracht, um bei der Verseifung der Fette in der Technik sehr nützliche Thonerdeverbindungen als werthvolle Nebenproducte zu erhalten **). Thonerde für sich verseift die Fette nicht und dann ist die in der Natur vorkommende nicht frei von fremden Substanzen. Diese Schwierigkeiten lassen sich aber heben, sobald man die Alkalien als vermittelnde Körper anwendet. Die Alkaliseifen lösen den Thon auf, besonders wenn Alkali im Ueberschuß vorhanden ist. In dem Maße als sich

*) Compt. rend. 1855. No. 23.

**) Compt. rend. T. XXXVI. p. 148.

der Thon löst, zersetzt er die Seife; er verbindet sich selbst mit den fetten Säuren und scheidet das Alkali ab. Ein Ueberschuß von Alkali oder eine Salzlösung oder viel Wasser scheidet die Thonerdesoife ab, die gallertartig ist und leicht durch Säuren zersetzt werden kann. Die Kieselsäure aus dem Thon scheidet sich aus, wenn man die Thonerdelösung concentrirt. Um die Operation zu beschleunigen und eine nicht zu große Menge Alkali zu verbrauchen, kann man schon beim Beginn der Verseifung den Thon zusetzen. Namentlich für diejenigen Gegenden, wo man Thon frei von Eisenoxyd findet, scheint dieser Vorschlag von Wichtigkeit zu sein, doch müssen darüber erst noch Versuche im Großen entscheiden.

Zur Darstellung der festen fetten Säuren durch Verseifung der Fette mit Kalk kann eben nur guter Talg verwendet werden; schlechter Talg liefert so schmierige Fettsäuren, daß beim Auspressen sehr viel verloren geht. Dadurch hat eine andere Methode, die zuerst von England ausging und in Deutschland noch nicht allgemein befolgt wird, eine große Wichtigkeit erlangt, da sie selbst aus geringeren Fetten und Abfällen bei der Olivenölgewinnung, Knochenfett, Darmfett, aus dem Saß des Thranes, aus Oelsäure, Seifenwasser, Palmöl u. sehr schöne feste fette Säuren liefert. Obgleich man auch hier häufig von einer Verseifung spricht, so kann davon doch wohl keine Rede sein. Die Trennung erfolgt hier durch concentrirte Schwefelsäure und durch Destillation mittelst Wasserdämpfen. Wir verweisen deshalb auf die Literatur: Tilgmann, Verfahren zur Bereitung der Fettsäuren, in Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVIII. S. 122. Hefsenß, ebenda S. 126, Bossat und Knab, Apparat zur Destillation der Fette, ebenda Bd. CXXXVII. S. 216. Pohl, Verhalten des Palmöls beim Erhitzen, Sitzungsb. d. Wiener Akad. Bd. XII. Baumann, Apparat zur Destillation der Fette, polytechn. Centralbl. 1855 S. 881 und Wilson, Zersetzung der Fette durch Wasserdämpfe bei hoher Temperatur, ebenda S. 1472.

W. B.

Versilberung. Das Verfahren hat im Allgemeinen große Ähnlichkeit mit der Vergoldung, weshalb wir zur Ergänzung auf diesen Artikel verweisen. — Zur Feuervergilberung wendet man entweder Silberamalgam oder ein Gemisch aus 1 Th. durch Kupfer niedergeschlagenem Silber, 4 Th. Kochsalz, eben so viel Salmiak und $\frac{1}{4}$ Th. Quecksilbersublimat, das mit Wasser zu einem Brei angerührt wird, an. Die zu versilbernden Gegenstände (Kupfer, Messing, Tombak) werden mit verdünnter Salpeter- oder Schwefelsäure gebeizt, mit Kochsalz und Weinstein abgerieben und dann das erwähnte Gemenge aufgetragen. Das Quecksilberchlorid wird hierbei zersetzt, so daß sich die Oberfläche mit Silberamalgam überzieht. — Eine andere Mischung besteht aus $1\frac{1}{3}$ Loth Chlor Silber, Salmiak, Glasgalle, Zinkvitriol (oder Kochsalz) von jedem 5 Loth und $\frac{1}{2}$ Loth Quecksilbersublimat. — Bei Knöpfen wendet man einen Brei aus 48 Th. Kochsalz, eben so viel Zinkvitriol, 1 Th. Quecksilbersublimat und 2 Th. Chlor Silber an. — Nach einer anderen Vorschrift befeuchtet man die zu versilbernde Oberfläche mit Salzwasser und trägt ein Gemenge von gleichen Theilen Chlor Silber und durch Kupfer niedergeschlagenem Silber und 2 Th. calcinirtem Borax auf. Dann glüht man, taucht den Gegenstand noch heiß in eine Auflösung von Kochsalz und Weinstein undbürstet denselben ab. Hierauf trägt man einen Brei aus gleichen Theilen Salmiak, Kochsalz, Zinkvitriol und Glasgalle auf, glüht das Stück frisch-

roth, löst in siedendem Wasser ab und büstet dasselbe unter kaltem Wasser. Diese Operationen werden 4 bis 5 Mal wiederholt und dann schreitet man zum Poliren.

Bei der kalten Verfilberung reibt man auf die vorher gut gereinigte Oberfläche ein Gemenge von 1 Th. Chlorfilber, 3 Th. Pottasche, 1 Th. Schleimkreide und 1 Th. Kochsalz mit dem Finger ein, wült ab, reibt trocken und überzieht dann mit einem farblosen Lack. Diese matte Verfilberung ist namentlich für physikalische und mathematische Instrumente, die man nicht erhitzen darf, sehr zweckmäßig. Stein empfiehlt hierzu einen Brei aus 1 Th. salpetersaurem Silberoxyd und 3 Th. Chalkalium, der mit einem wollenen Lappen aufgerieben wird. Oder man mengt 1 Th. durch Kupfer niedergeschlagenes Silber mit 4 bis 6 Th. Kochsalz, eben so viel gereinigtem Weinstein und $1\frac{1}{2}$ Th. Alaun. Die Politur erzielt man durch Reiben mit weichem Leder. — Den Zifferblättern der Uhren ertheilt man dadurch eine schöne, matte, körnige Verfilberung, daß man durch Kupfer gefälltes Silber mit einem Gemenge von gleichen Theilen Kochsalz und Weinstein auf die gut gereinigte Oberfläche eintreibt.

Auf nassem Wege, durch den sogenannten Silberfud, verfilbert man verschiedene Metalle (Kupfer, Messing, Tombak, Bronze) durch Kochen in emaillirten Kesseln, die eine Auflösung von $\frac{1}{4}$ Loth Hornfilber, 4 Loth gereinigtem Weinstein und eben so viel Kochsalz enthalten. Koch kräftiger auflösend als das Kochsalz wirkt der Salmiak auf Chlorfilber. Der Weinstein befördert das Verfilbern, weil er die Oxydschicht an der Oberfläche auflöst. — Messing, Kupfer und Bronze können auch durch eine Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd in Chalkalium, die nahe bis zum Sieden erhitzt wird, verfilbert werden. — Moselieur und Lavaur empfehlen als Verfilberungsbad eine Auflösung von 100 Theilen unterschwefligsaurem Natron und 15 Th. irgend eines Silberjals. Diese Verfilberung ist wenig dauerhaft und eignet sich nur für kleinere Bijouteriesachen.

Die Verfilberung metallischer Waaren mittelst Blattfilber ist neuerdings durch das Plattiren und die galvanische Verfilberung sehr in Abnahme gekommen. Soll Eisen verfilbert werden, so muß es vorher einen Kupferüberzug erhalten und wird dann kalt verfilbert. — Eine falsche Verfilberung erzielt man durch ein Amalgam aus Zinn, Wisnuth und Quecksilber, das mit 4 Th. Schleimkreide gemischt wird. Reibt man dasselbe auf Kupfer ein, so wird die Oberfläche augenblicklich weiß.

Bei der Verfilberung nicht metallischer Gegenstände (Holz, Stein, Papier, Leder u.) wendet man ein Poliment aus weißem Bolus, Kreide, Leinwasser, weißem Wachs oder Seife an. — Elfenbein wird dadurch verfilbert, daß man es einige Zeit in einer concentrirten Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd liegen läßt, dann unter Wasser dem Licht aussetzt, wodurch es schwarz wird, und polirt. — Seidenzeug soll mit einer solchen Lösung getränkt und dann mit Wasserstoff behandelt einen Silberluster annehmen.

Wegen der Verfilberung des Porzellans verweisen wir auf den Artikel Vergoldung. Eine dieser ähnliche Verfilberung des Glases ist bereits in dem Artikel Glas, Bd. III. S. 612 besprochen.

Die Belegung der Spiegel mit Zinnamalgam ist eben wegen des Queck-

silber eine sehr ungesunde Arbeit. Deshalb hat Drayton neuerdings die Ver Silberung zu diesem Zweck empfohlen. Man versetzt zu diesem Zweck eine Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd in Ammoniak mit einer Lösung von Cassiaöl in Weingeist und zwar nimmt man auf 1 Unze Höllenstein 3 Unzen Weingeist von 87 Proc. und 20 bis 30 Tropfen Cassiaöl. Dies ist die ver Silbernde Flüssigkeit; die reducirende besteht aus 1 Maßtheil Gewürznelkenöl und 3 M. Th. Weingeist. Man umgiebt die Spiegelplatte mit einem Rande von Wasserfett und gießt die ver Silbernde Flüssigkeit 1 bis 2 Linien hoch darauf. Setzt man die Nelfenöllösung hinzu, so wird das Silber reducirt und setzt sich als ein glänzender Metallspiegel auf das Glas ab und zwar um so rascher, je mehr man von jener verwendet. Besser ist jedoch eine langsame Reduction. 6 bis 12 Tropfen der Nelfenöllösung reichen hin, um das Silber aus $4\frac{1}{2}$ Unzen der Lösung niederzuschlagen. Kostbar ist diese Methode nicht, da der Silberüberzug nur eine Dicke von $\frac{1}{2500}$ bis $\frac{1}{1700}$ Linie besitzt, so daß der Metallwerth eines Silberüberzuges auf einen Spiegel von 10 R. Länge und 5 R. Breite noch nicht $2\frac{1}{2}$ bis $3\frac{1}{2}$ Thlr. ausmacht und auf den Quadratfuß nur ungefähr $1\frac{1}{2}$ bis 2 Sgr. kommen. Indessen hat diese Neuerung bis jetzt doch nur wenig Verbreitung gefunden. Man klagt darüber, daß die Farbe dieser Spiegel zu dunkel sei, die Hauptsache ist aber, weil der Ueberzug auf großen Flächen sehr leicht fleckig wird. Drayton hat zwar die obige Vorschrift durch eine andere ersetzt *), aber auch hiermit sind größere Flächen sehr schwer fleckenfrei zu erhalten. Auf der schweizerischen Industrieausstellung in Bern (1858) sahen wir indessen einige große Spiegel, deren Silberbelegung frei von jedem Fadel war.

Bei kleineren Gegenständen aus Glas, die erhitzt werden können, empfiehlt Wohl **) eine Lösung von Schießbaumwolle oder anderen explosiven Substanzen aus Zucker, Mannit u. in Aetzkali, der man einige Tropfen einer Lösung von salpetersaurem Silberoxyd hinzusetzt und dann Ammoniak bis zur Lösung des anfangs gefällten Silberoxydes. Erhitzt man darauf im Wasserbade, so färbt sich die Flüssigkeit schwarzbraun, sie braust auf und das Silber schlägt sich als glänzender Spiegel auf die Gefäßwände nieder. Der Glanz soll schöner sein als bei der Reduction durch ätherische Oele.

In der neueren Zeit hat Liebig sich damit beschäftigt, durch Ver Silberung des Glases in der Kälte fehlerfreie optische Spiegel darzustellen ***). Die Ver Silberungsflüssigkeit, die nach Steinheil dem Zwecke vollkommen entsprechen soll, wird auf folgende Weise bereitet. Man löst 10 Grm. geschmolzenes, salpetersaures Silberoxyd in 200 Cubiccent. Wasser und setzt so viel Ammoniakflüssigkeit hinzu, bis die Lösung vollständig klar ist. Entsteht bei dem weiteren Zusatz von 450 Cubiccent. einer Kalilauge von 1,05 spec. Gewicht oder dem gleichen Volumen einer Natronlauge von 1,035 spec. Gewicht ein Niederschlag, so wird dieser durch Ammoniakflüssigkeit aufgelöst. Dann verdünnt man die Mischung mit so viel Wasser, daß das Ganze 1450 Cubiccent. beträgt. Nun fügt man tropfenweise eine Lösung von salpetersaurem Silberoxyd hinzu, bis

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXII. S. 257.

**) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXIII. S. 242.

***) Ann. v. Chem. und Pharm. Bd. XCIII. S. 132.

ein starker Niederschlag entsteht und ergänzt dann die Flüssigkeit mit Wasser bis auf 1500 Cubiccentimeter. Will man einen reinen Spiegel erhalten, so darf kein freies Ammoniak in der Flüssigkeit enthalten, sondern sie muß mit Silberoxyd vollkommen gesättigt sein. Die Lauge muß ferner frei sein von Chlormetallen.

Unmittelbar vor der Verwendung mischt man diese Flüssigkeit mit $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{8}$ ihres Volumens einer Milchzuckerlösung, die 1 Gewichtetheil Milchzucker in 10 Th. Wasser enthält. Die Versilberung von kleinen, hohlen oder erhabenen Spiegelgläsern bietet keine Schwierigkeiten dar. Auf der Rückseite befestigt man mit Honigkitt einen Stab, der ein Schwebenerhalten möglich macht. Die Flüssigkeit muß die Oberfläche des Glases berühren und vollständig benetzen. Die kleinste Luftblase bewirkt ein Loch im Silberspiegel, das oft im Spiegel selbst nicht zum Vorschein kommt. Durch vorheriges Benetzen mit Weingeist wird die anhängende Luftschicht leicht beseitigt. — Bei ebenen Spiegeln sind Kästchen von Gutta-Percha sehr zweckmäßig, in denen die Spiegel auf Trägern von eben demselben Material ruhen in einem Abstände von nicht weniger denn $\frac{1}{2}$ Zoll vom Boden.

Die Reduction des Silbers geht nach dem Zusatz des Milchzuckers augenblicklich vor sich und sie ist vollendet, wenn die zwischen dem Glasrand und der Gefäßwand stehende Flüssigkeit mit einer weißen, spiegelnden Silberhaut überzogen ist. Der Silberspiegel auf einer Fläche von 226 Quadratcentim. wog nur 49 Marm., so daß also ein Spiegel von 1 Quadratmeter (= 10,152 Quadratfuß) nur 2,21 Grm. Silber oder einen Werth von 14 Kr. (4 Sgr.) in Anspruch nahm.

Beim Herausnehmen und Abwaschen der Platte muß man vorsichtig sein; man darf die Versilberung nicht mit den Fingern verletzen, weil sonst das Wasser zwischen den Beleg und das Glas eindringt und das Silber ablöst. Nach dem Trocknen haftet das Silber so fest, daß es sich nur schwer mit dem Finger abstreifen läßt. Der Beleg kann mit feinem Roth und Sammt polirt werden. Will man fehlerfreie Silberspiegel erhalten, so muß die Platte besonders sorgsam gepußt werden; sonst machen sich die Striche der Wischlappen sehr leicht bemerklich. Um den Beleg vor mechanischer Beschädigung zu bewahren, überzieht man denselben mit einer Auflösung von Dammarharz in Weingeist.

Löwe empfiehlt als Versilberungsflüssigkeit *) eine mit Ammoniak versetzte Lösung des salpetersauren Silberoxydes, die mit einer Lösung von Traubenzucker und Aepfelfalk vermischt wird, und Hill **) eine gleiche Lösung, die mit umgewandeltem Zucker, aus Rohrzucker durch Einwirkung von verdünnter Schwefelsäure bereitet, etwas Mannit und Schwefeläther versetzt wird. Bei letzterer erfolgt die Reduction erst bei 100° C.

Nach Wetitzean ***) bereitet man die zur Versilberung erforderlichen Flüssigkeiten auf folgende Weise. Man versetzt 10 $\frac{1}{2}$ Unze salpetersaures Silberoxyd mit 6 $\frac{1}{2}$ Unze Aepfhammoniakflüssigkeit und fügt dann 3 $\frac{1}{2}$ Pfd. destillirtes

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXL. S. 204.

**) Ebenda S. 75.

***) Ebenda Bd. CXLI. S. 438.

Wasser hinzu. Die filtrirte Flüssigkeit mischt man mit $1\frac{1}{8}$ Unze Weinsteinsäure, welche in dem 4fachen Gewicht Wasser aufgelöst ist, setzt noch 15 Pfd. destillirtes Wasser hinzu und überläßt die Mischung der Ruhe, damit sich das weinsteinsaurer Silberoxyd absetzt. Von diesem gießt man die Flüssigkeit ab und sucht den Niederschlag in 17 bis 20 Pfd. destillirtem Wasser aufzulösen. Nach einiger Zeit decantirt man die Flüssigkeit ab, vermischt sie mit der zuerst erhaltenen und setzt noch 5 Pfd. Wasser hinzu. Die zweite Flüssigkeit wird ebenso bereitet, enthält aber zwei Mal so viel Weinsteinsäure. Beide Lösungen dürfen nur für den täglichen Verbrauch bereitet werden.

Die sorgfältige Reinigung des Glases geschieht durch Zinnasche und damit die Oberfläche vollständig genezt wird, befeuchtet man sie mit der ersten Lösung mittelst einer mit Kautschuk überzogenen hölzernen Walze. Zur Aufnahme der Versilberungsflüssigkeit dient eine mit aufstehenden Rändern versehene gußeiserne Platte, welche auf einem Wasserbade bis auf 60° C. erwärmt wird. Die Oberfläche der Platte belegt man mit Wachstuch und darauf die Glasplatte. Nach 15 bis 20 Minuten hat sich eine dünne Silberschicht abgesetzt und dann gießt man die zweite Lösung auf, wo dann nach weiteren 15 bis 20 Minuten die Silberschicht so dick ist, daß sie undurchsichtig erscheint.

Hohle Gegenstände legt man 10 bis 12 Stunden lang in eine starke Auflösung von unterschwefligsaurem Natron und füllt sie dann nach einander mit beiden Lösungen. Die Erwärmung ist nicht gerade nöthig, aber die Ablagerung des Silbers findet dann schneller statt. — Mangelhafte Stellen lassen sich leicht verbessern. Der Ueberzug haftet so fest, daß er ganz gut polirt werden kann.

Houcault hat in neuester Zeit versilberte Spiegel als Teleskope benutzt *), und solche als vollkommen brauchbar gefunden. Die metallische Schicht, welche zuerst matt und dunkel erschien, wurde durch Poliren mit weichem Leder und englischem Roth aufgehellt und erhielt dadurch in kurzer Zeit einen sehr lebhaften Glanz. Das so dargestellte Teleskop hatte 10^{cm}. Durchmesser und 50^{cm}. Brennweite. Das kleine Instrument verträgt sehr gut ein Ocular, welches die Vergrößerung auf 200 steigert und verglichen mit einem Fernrohr von 1 Meter, giebt es einen merklich höheren Effect. Bei gleichem Durchmesser ist das Glas-Teleskop um die Hälfte kürzer als das Fernrohr und giebt den Bildern beinahe eben so viel Licht und mehr Reinheit. Bei gleicher Länge verträgt es den doppelten Durchmesser und sammelt $3\frac{1}{2}$ Mal mehr Licht. Bei dem neuen Teleskop kommt ferner das Glas nicht als brechendes Mittel in Betracht, sondern nur als Träger einer dünnen, metallischen Schicht. Das gewöhnlichste Glas, bei hinlänglicher Dicke mit Sorgfalt geschliffen, kann eine concave Oberfläche vertreten, die versilbert und polirt, für sich allein und durch Reflexion sehr gute Bilder giebt. Es fragt sich nur, wie sich der versilberte Spiegel conserviren wird. Wenn der Glanz sich schwächen sollte, so würde wohl nichts verhindern, ihn durch dasselbe Mittel wie ursprünglich, durch Reiben mit Leder, wieder zu beleben. Sollte sich das Silber in seiner Dicke verändern, so ist eine neue Versilberung sehr leicht herzustellen.

W. W.

*) Compt. rend. T. XLIV. p. 339.

Die oben erwähnte verticale Säule FE besteht aus einem hohlen Cylinder, der an seinem untersten Theile F auf drei starken Füßen K befestigt ist. An der unteren Seite dieser Füße wird durch drei Schrauben, von denen man in der Zeichnung nur zwei a und c sehen kann, eine dreiarmlige Spange von Stahl, von deren drei Armen die zwei ab und bc sichtbar sind, angebracht, und auf der Mitte h dieser starken, elastischen Stahlfeder steht die eigentliche verticale Aze des Instruments, die durch die Höhlung des Cylinders FE geht und an ihrem obersten Ende die bereits erwähnte innere horizontale Aze AB der beiden Kreise aufnimmt. Noch ist unter jenem Fußgestelle zwischen ihm und der Stahlschraube, ein horizontaler Kreis M an das untere Ende der verticalen Aze des Instruments befestigt, der sich daher mit dieser Aze dreht. Man sieht nicht weit von h eine Druckschraube, mit welcher man diesen Kreis an das Fußgestelle bei c befestigen kann. Eben daselbst ist auch ein Index oder ein Vernier an dem Fußgestelle angebracht, durch dessen Hülfe man diesen horizontalen Kreis auf einen bestimmten Punkt im Horizonte, also auch die Verticalkreise m und n in ein bestimmtes Azimuth stellen kann.

Nehmen wir an, der äußere, die Eintheilung tragende Kreis nn sei mit dem Fußgestelle FQB des Instruments fest und unveränderlich verbunden. Um der Beständigkeit seiner Lage gewiß zu sein, könnte man an seinen oberen Speichen eine Libelle befestigen, durch die man jede kleine Verstellung dieses Kreises sogleich erkennen und berichtigen würde. — Kann man nun voraussetzen, daß die Ebene der beiden Kreise vollkommen vertical ist, und daß die optische Aze des Fernrohrs zu dieser Kreisebene parallel ist, so wird man, um die Höhe oder die Zenithdistanz eines Sternes zu beobachten, zuerst den unteren horizontalen Kreis M lösen, indem man die Druckschraube bei c nachläßt, und dann wird man das ganze Instrument um seine in dem hohlen Cylinder FQ stehende verticale Aze so lange frei drehen, bis die Ebene des Kreises durch den zu beobachtenden Stern geht. Dann öffnet man auch die ähnlüche (und deshalb in der Zeichnung nicht angegebene) Druckschraube, welche den inneren Kreis an dem festen äußeren hält, so daß man also jetzt diesen inneren Kreis, sammt dem an ihm befestigten Fernrohre, um seine horizontale Aze AB so lange drehen kann, bis das Gestirn im Felde des Fernrohrs, in der Nähe des in demselben ausgespannten Fadens, erscheint. In dieser Lage befestigt man nun wieder die beiden Druckschrauben des Kreises M sowohl, als auch die des inneren verticalen Kreises mm, so steht jetzt das Instrument in der vorbereitenden Lage, die zu den eigentlichen Beobachtungen erfordert wird. — Bemerken wir nun, daß bei jeder dieser Druckschrauben auch noch eine andere kleine Mikrometerschraube angebracht ist, die in der Lage der Tangente ihres Kreises liegt und dazu bestimmt ist, die obigen durch ihre Druckschrauben bereits geklemmten oder befestigten Kreise noch etwas wenigstens in ihrer Ebene weiter zu bewegen. Durch diese Mikrometerschraube bewegt man nun das Fernrohr in verticaler und horizontaler Richtung ganz leise so, daß der bereits im Felde des Fernrohrs stehende Stern in der Mitte des Feldes ganz genau auf den horizontalen Faden zu stehen komme. In diesem Augenblicke läßt man die neben dem Instrumente stehende Uhr und dann auch den Stand der Verniere des inneren Kreises gegen den festen eingetheilten äußeren Kreis ab, wodurch man die gesuchte Zenithdistanz des Sternes für eine gegebene Zeit erhält, vorausgesetzt, daß man den Collimationsfehler des Kreises bereits kennt, d. h. daß man bereits weiß, wie viel man von jeder Lesung am Kreise abziehen, oder dazu addiren muß, um die wahre Zenithdistanz der

Beobachtung zu erhalten. Diesen Collimationsfehler findet man aber entweder durch Umwendung des Instruments oder durch einen Quecksilberhorizont ganz auf dieselbe Art, wie dies bei dem Meridiankreise geschieht, und man sieht von selbst, daß hier die erste Methode ganz besonders anwendbar ist, weil das Instrument, nach der Einrichtung seines Baues, sich so leicht und sicher umwenden läßt, so daß einmal der Kreis auf der einen und dann auf der entgegengesetzten Seite der verticalen Säule *FB* zu stehen kommt.

Jede einzelne Beobachtung wird mit mehr oder weniger Fehlern behaftet sein, die nicht nur durch mangelhafte Geschicklichkeit des Beobachters herbeigeführt werden, sondern auch durch Unvollkommenheiten des Instrumentes bedingt sind, welche in jeder bestimmten Stellung desselben von einem bestimmten Einfluß sein müssen. Eine der wichtigsten Fehlerquellen kann eine nicht völlig richtige Theilung werden. Um namentlich die aus dieser Fehlerquelle entspringenden Irrthümer möglichst zu vermeiden, gab man besonders früher den Instrumenten eine Einrichtung, um die Beobachtungen zu vervielfältigen, (lat.) zu multipliciren, wovon es den Namen erhielt. Doch hat man die Theilung der Instrumente gegenwärtig zu einem Grade der Vollkommenheit gebracht, welcher die Methode der Multiplication überflüssig macht, indem gegenwärtig eine zur Multiplication gemachte Vorrichtung mit mehr Fehlern behaftet sein dürfte, als die Theilung, wenn beide mit möglichster Vollkommenheit hergestellt werden. Littrow *) giebt von der Behandlungsart der Instrumente beim Multiplicationsverfahren genauere Kenntniß.

Verwandtschaft, chemische, Wahlverwandtschaft, chemische Anziehung oder Kraft, Affinität nennt man die Kraft, durch welche zwei verschiedenartige Körper, sobald sie in Berührung mit einander kommen, zu einem homogenen Ganzen, einem neuen Körper, der in seinen Eigenschaften ganz verschieden von jenen beiden, seinen Bestandtheilen ist, vereinigt werden. Schon in sehr früher Zeit mußte man wahrnehmen, daß gewisse Körper sich mit anderen sehr leicht vereinigen, während dieselben gegen andere sich wieder gleichgültig verhalten. Selbst als man noch nicht dahin gelangt war, die chemischen Thatfachen aus allgemeinen Gesichtspunkten zu betrachten, konnte man doch nicht umhin, sich Rechenschaft darüber zu geben, warum denn zwei Körper sich zu einem neuen dritten vereinigen. Daher finden wir schon beim Hippokrates, also im fünften Jahrhundert v. Chr. v. Chr., die Ansicht ausgesprochen, daß beide Körper, welche eine Verbindung eingehen, ein gemeinsames Princip enthalten. Je mehr man die Verschiedenheit des Verhaltens, sobald zwei Körper mit einander in Berührung kamen und auf einander einwirkten, kennen lernte, um so geneigter wurde man, auch hier die menschlichen Verhältnisse als Maßstab eintreten zu lassen und da sich eben nur Gleiches mit Gleichem vereinigen sollte, so glaubte man, daß die verschiedenen Körper in einer Verbindung gleichsam durch die Bande eines gemeinsamen Blutes zusammengehalten würden. Man nannte daher solche Körper, die sich eben mit einander vereinigen, mit einander verwandt. Dieser Ausdruck kommt schon in den Schriften des Albertus Magnus, des ersten Chemikers von Bedeutung, den Deutschland aufzuweisen hat, also bereits zu Anfange des 13. Jahr-

*) Der Himmel etc. Stuttg. 1835.

hundertel vor. Bei R. Hooke, der in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts lebte, findet sich auch bereits der Ausdruck *affinitas chemica*. Aber man verband damit doch Begriffe, die den heutigen gerade entgegenstehen. In jener Zeit war Verwandtschaft gleichbedeutend mit Ähnlichkeit und zwar besaßen die Körper eine um so größere Verwandtschaft zu einander, je ähnlicher man in chemischer Beziehung beide hielt. Weitere Erfahrungen haben uns gelehrt, daß sich gerade die Körper am leichtesten mit einander verbinden, die die größte Unähnlichkeit in ihrem chemischen Verhalten äußern.

Diese Aenderung des Begriffes tritt zunächst mit B ö r h a v e ein, der namentlich den Lösungsmitteln, d. h. den Säuren eine Verwandtschaft zu den aufzulösenden Körpern, also den Metallen beilegte. Dadurch wird deutlich ausgesprochen, daß die Verwandtschaft eben das Bestreben unähnlicher Körper sei, sich mit einander zu verbinden. Dieser Begriff fand trotz B ö r h a v e's Ansehen unter seinen Zeitgenossen und Nachfolgern nicht allgemeine Verbreitung und Anerkennung; namentlich in Frankreich war die Abneigung so groß, daß man selbst den Ausdruck „Verwandtschaft“ ganz zu umgehen und zu vermeiden suchte. Erst seit 1730 kam derselbe mehr in Aufnahme und steht selbst heute noch in Ansehen, obgleich B e r g m a n n sich sehr bemühte, an Stelle desselben die von N e w t o n angewandte Bezeichnung Anziehung oder Attraction einzuführen. Allerdings ist wohl die Kraft, welche die Welt zusammenhält, indem sie den Lauf der Planeten regelt, und die Dinge in ihr, sowohl die gleichartigen Theilchen der einzelnen Körper wie die verschiedenartigen Theilchen einer Verbindung, wesentlich ein und dieselbe; aber wir haben ihr in diesen drei Fällen verschiedene Namen gegeben, um sogleich anzudeuten, um was es sich eigentlich handelt. Wie die Cohäsion wirkt auch die chemische Anziehung in den kleinsten Theilchen der Körper, den Atomen, nur ist der Unterschied der, daß jene die gleichartigen Theilchen eines Ganzen zusammenhält, während die chemische Anziehung sich nur bei Berührung ungleichartiger Körper äußert, indem sie den Gegensatz beider scheinbar aufhebt und zu einem gleichartigen Ganzen verbindet, so daß selbst in den kleinsten Theilchen desselben keine Ungleichförmigkeit mit unseren Sinnen wahrzunehmen ist. Die Kraft, welche die einzelnen Theile des Schwefels oder Eisens durch gegenseitige Anziehung zusammenhält, belegen wir also mit dem Namen Cohäsion. Bringen wir aber Schwefel und Eisen zusammen, so vereinigt die chemische Anziehung beide, obgleich ganz ungleichartige Theilchen, zu Schwefeleisen, an welchem wir weder die Eigenschaft des Schwefels noch des Eisens wahrnehmen können. Von der Adhäsion, durch die wir mit Hilfe der sogenannten Bindemittel (Ritte) ungleichartige Körper mit einander vereinigen können, wie z. B. Glas und Holz, Metall und Stein u., ist die chemische Verwandtschaft dadurch verschieden, daß jene jedem Körper seine Eigenart läßt und nicht wie diese die Eigenschaften desselben verändert. Von der Gravitation oder Schwerkraft, welche den Lauf der Planeten regelt und die Welt zusammenhält, unterscheidet sich die chemische Anziehung dadurch, daß, während jene selbst bis auf die weitesten Entfernungen hin ihre Wirkung ausübt, und zwar auf Massen, diese nur bei unmittelbarer Berührung, also bei unmeßbar kleinen Abständen und nur auf die kleinsten Theilchen, die Atome, thätig sein kann *).

*) De la Rive hält die chemische Verwandtschaft und die Elektricität für verschiedene

Die Hauptbedingung bei der Aeußerung der chemischen Anziehung ist demnach die unmittelbare Berührung und zwar nicht bloß in einem Punkte, sondern in möglichst vielen. Legen wir z. B. Schwefel und Kupfer in großen Stücken neben einander, so verhalten sich beide ganz theilnahmslos gegen einander. Verwandeln wir aber beide in feines Pulver, so daß sie sich in sehr vielen Punkten berühren und vervielfältigen wir diese noch dadurch, daß wir beide in einem Mörser zusammenreiben, so entwickelt sich eine bedeutende Wärme und beide vereinigen sich zu Schwefelkupfer, in welchem wir weder durch das Mikroskop noch auf irgend eine andere Weise den Schwefel neben dem Kupfer erkennen.

Hieraus folgt, daß feste Körper, die sich mit einander verbinden sollen, stets fein zerteilt werden müssen, denn je feiner diese Zerteilung stattgefunden hat, um so mehr Berührungspunkte bieten sich dar. Bei Gasen oder Flüssigkeiten findet also diese Bedingung im vollkommensten Maße statt. Jedoch ist damit nicht gesagt, daß nun in allen Fällen auch eine chemische Verbindung zu Stande komme, so viel aber ist sicher, daß dadurch ein Hinderniß, welches der Aeußerung der chemischen Anziehung entgegensteht, entfernt worden ist. Oft wird allerdings durch die feine Verteilung eine Verbindung eingeleitet, aber der Fortgang derselben wird dadurch aufgehoben, daß sich das Neugebildete zwischen die noch unverbundenen Theilchen lagert und die unmittelbare Berührung derselben aufhebt. In diesen Fällen reichen mechanische Mittel, wie Reiben und Umrühren oder die Anwendung von Lösungsmitteln, welche die bereits gebildete Verbindung in sich aufnehmen, aus, um der Thätigkeit der chemischen Verbindung den Fortgang zu sichern. Im Allgemeinen findet jedoch nur selten eine Vereinigung statt, wenn beide Körper fest sind. In der älteren Zeit stellte man sogar die Regel auf: *Corpora non agunt nisi fluida*, die jedoch, wie wir gezeigt, Ausnahmen zuläßt. Allerdings wird die Vereinigung sehr erleichtert, wenn wenigstens der eine der Körper tropfbar oder elastisch-flüssig ist oder wenigstens in einer höheren Temperatur dahin gebracht werden kann. Sehr erleichtert wird die Vereinigung, wenn die Verbindung der beiden festen Körper flüssig ist oder hierbei eine Flüssigkeit ausgeschieden wird, weil diese die Beweglichkeit der festen Körper erhöht und die Zahl der Berührungspunkte vermehrt. So bildet sich z. B. oxalsaurer Kalk, wenn man krystallisirte Oxalsäure mit Kalk zusammenreibt, weil die Oxalsäure mehr Wasser enthält, als die neue Verbindung aufzunehmen vermag. Aber selbst dann, wenn der eine oder gar beide Körper flüssig sind, muß man doch noch zu andern Mitteln, welche die Vereinigung zweier Körper begünstigen, seine Zuflucht nehmen. Hierzu gehören z. B. die Wärme, die Elektricität und das Licht. So z. B. verbindet sich die Kohle nicht mit geschmolzenem Schwefel, sondern nur, wenn dieser in Dampfform auf sie einwirkt. Wollen wir Kohle in Sauerstoffgas verbrennen, also Kohlensäure erzeugen, so müssen wir die Kohle zuvor bis zum Glühen erhitzen. Aber selbst wenn beide Körper Gase sind, muß man oft zur Erhitzung seine Zuflucht nehmen, um eine Vereinigung zu erzielen, obgleich man glauben sollte, daß hierdurch gerade die Verbindung erschwert werden müsse, da die Elasticität der beiden Gase vermehrt wird. So verhalten sich z. B. Sauerstoff und Wasserstoff bei gewöhnlicher Temperatur gleichgültig zu einander, während sie sich in der

Formen derselben Kraft. (Pogg. Ann. Bd. XXXVII. S. 253.) Ebenso Faraday (ebenda Bd. XXXV. S. 18).

Glühitze zu Wasser verbinden. Das Licht wirkt z. B. vereinigend auf ein Gemisch von Chlor und Wasserstoff und der elektrische Funke auf ein solches von Sauerstoff mit Wasserstoff oder Stickstoff.

Während die Wärme gemeinhin als das hauptsächlichste Beförderungsmittel benutzt wird, muß sogar in einigen Fällen durch eine Erniedrigung der Temperatur eine chemische Verbindung eingeleitet werden. Sehr häufig wird eine solche auch durch einen dritten Körper bewirkt, der hierbei keinerlei Veränderung erleidet. Es ist dies die sogenannte Contactwirkung (s. den Art. Absorption, Bd. I. S. 45). In anderen Fällen aber erleidet dieser dritte Körper, der die Verbindung von zwei anderen bewirkt, selbst eine chemische Veränderung. So ist man z. B. häufig genöthigt, wenn man zwei Körper mit einander vereinigen will, den einen derselben erst mit einem dritten zu verbinden und nun erst läßt man den andern darauf einwirken. Man ersetzt also hier in einer Verbindung den einen Bestandtheil derselben durch einen andern und deshalb nennt man diesen Vorgang Substitution. So z. B. geht das Jod keine Verbindung mit dem Sauerstoff ein, wenn beide direct auf einander einwirken; bringt man aber Jod mit Salpetersäure zusammen, so bildet sich Jodsäure, indem das Jod gleichsam den Stickstoff in der Salpetersäure ersetzt, also an dessen Stelle tritt. Gerade bei den Körpern, die eine geringe Verwandtschaft zu einander zeigen, findet sehr leicht eine chemische Verbindung statt, in demselben Augenblick, wo einer derselben oder beide aus anderen Verbindungen ausgeschieden werden und sich, wie man zu sagen pflegt, im Entstehungsmoment (*status nascentis*) befinden. So z. B. sind Sauerstoff und Stickstoff, wegen der großen Indifferenz des letzteren, nur sehr schwierig mit einander zu vereinigen; sobald aber letzterer aus einer Verbindung ausgeschieden wird, bildet er mit dem gleichzeitig anwesenden Sauerstoff sehr leicht Salpetersäure; so z. B. wenn man Ammoniak und Sauerstoff durch glühende Röhren oder erhitet allein über bis zum Glühen erhitzten Braunkohle leitet. In letzterem Fall wird neben dem Stickstoff gleichzeitig auch Sauerstoff abgeschieden. Ein anderes Beispiel ist die Darstellung von Wasserstoffsuperoxyd. Diese zweite Sauerstoffverbindung des Wasserstoffs kann nicht dadurch erzielt werden, daß man Wasser mit Sauerstoff zusammenbringt, sondern sie entsteht nur, wenn Sauerstoff bei seiner Ausscheidung aus einer anderen Verbindung, dem Baryumsuperoxyd, gleichzeitig Wasser vorfindet. Wieder in anderen Fällen kann man zwei Körper nur dann mit einander verbinden, wenn man gleichzeitig den einen noch auf einen dritten wirken läßt. Auch hier liefert uns der Stickstoff ein Beispiel. Durch bloße Erhitzung läßt sich derselbe nicht mit dem Sauerstoff zu Salpetersäure verbinden, wohl aber wenn man ein Gemisch von Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff verbrennen läßt. Neben dem Wasser entsteht hier gleichzeitig auch Salpetersäure. Hier wird also die Verbindung durch Mittheilung der chemischen Thätigkeit eingeleitet.

Fast bei einer jeden Vereinigung zweier Körper tritt eine Entwicklung von Wärme ein, die sich oft bis zur Feuererscheinung steigert. Die Temperaturerhöhung ist um so stärker, je größer die Verwandtschaft der beiden Körper zu einander ist. Eine Temperaturerniedrigung wird nur in sehr seltenen Fällen beobachtet. Bei einigen Verbindungen kann man auch eine Electricitätsentwicklung wahrnehmen.

Bei denselben Körpern erfolgt die Vereinigung um so leichter und schneller,

je mehr der flüssige oder gasförmige den festen der Masse nach überwiegt oder je mehr der Zusammenhang des festen durch die Wärme gelockert oder die Elasticität eines gasförmigen durch Erkältung und Compression verringert wird, denn dadurch wird der Widerstand, den beide, die Cohäsion und die Elasticität, der chemischen Verwandtschaft entgegensetzen, vermindert. Daß die Zerkleinerung des festen Körpers, so wie Schütteln und Reiben die Vereinigung befördern, haben wir schon erwähnt. Bei verschiedenen Körpern erfolgt die Verbindung um so leichter, je größer die chemische Anziehung und je geringer ihr Zusammenhang ist, je leichter sie sich einander durchdringen und je flüssiger die neue Verbindung ist. Weil bei den festen Körpern die zu überwindende Cohäsion größer ist, so verbinden sie sich viel langsamer mit flüssigen Körpern als diese unter einander.

Es verbinden sich nicht allein die Elemente, also die einfachen, unzerlegten Körper mit einander, sondern die hierdurch entstandenen Verbindungen gehen auch wiederum unter sich Verbindungen ein. Hiernach theilt man die chemischen Verbindungen in verschiedene Ordnungen ein. Die Verbindungen von zwei Elementen nennt man Verbindungen erster Ordnung, wie z. B. das Natron aus Natrium und Sauerstoff bestehend, Schwefelwasserstoff, Salpetersäure aus Stickstoff und Sauerstoff. Ueberhaupt sind hierher zu rechnen die unorganischen Säuren, Salzbasen, Chlorometalle etc. Die Elemente verbinden sich fast alle unter einander; es ist wohl anzunehmen, daß ein jedes Element eine Verwandtschaft zu jedem anderen besitzt, wenn es uns auch noch nicht in allen Fällen gelungen ist, diese zur Aeußerung zu bringen. Die Verbindungen der ersten Ordnung vereinigen sich wieder unter einander und bilden dann die Verbindungen zweiter Ordnung, wie z. B. salpetersaures Natron, schwefelsaures Kali etc. oder überhaupt die einfachen Salze. Durch die Vereinigung von Verbindungen zweiter Ordnung entstehen die der dritten Ordnung, wie z. B. schwefelsaures Magnesia-Kali, ein Doppelsalz aus schwefelsaurer Magnesia und schwefelsaurem Kali bestehend. Außerdem vereinigen sich auch die Verbindungen der dritten und zweiten Ordnung mit denen der ersten. So verbindet sich z. B. die schwefelsaure Magnesia, also eine Verbindung der zweiten Ordnung und das schwefelsaure Magnesia-Kali, also eine Verbindung der dritten Ordnung, mit dem Wasser, also einer Verbindung der ersten Ordnung. — Ferner theilt man die chemischen Verbindungen ein nach der Zahl der Elemente, die in ihnen enthalten sind. So hat man binäre, ternäre, quaternäre, quinternäre Verbindung, je nachdem sie zwei, drei, vier, fünf etc. Elemente enthalten. Wasser, Zinnober, Schwefelsäure, Eisenoryd gehört u. z. B. zu den binären Verbindungen; der Alaun dagegen ist eine quaternäre Verbindung.

Bei den Elementen ist die gegenseitige Verwandtschaft am stärksten. Je zusammengesehter aber die Körper sind, um so schwächer wird die Verwandtschaft derselben gegen einander. Dadurch wird der Zahl der Verbindungen eine Grenze gesetzt und namentlich verhindert, daß die Verbindungen dritter Ordnung nicht die beiden anderen an Zahl weit überflügeln. Von den Verbindungen der ersten Ordnung vereinigen sich wohl noch die meisten unter einander, bei denen der zweiten Ordnung ist indessen die Verwandtschaft schon bedeutend schwächer geworden und deshalb ist die Zahl der Verbindungen dritter Ordnung im Vergleich zu den theoretisch möglichen nur eine sehr geringe. Die Verbindungen dritter Ordnung äußern fast gar keine gegenseitige Verwandtschaft.

In den Verbindungen höherer Ordnungen unterscheidet man die näheren und entfernteren oder letzten Bestandtheile. Im schwefelsauren Natron sind Schwefelsäure und Natron die näheren und Schwefel, Natrium und Sauerstoff die entfernteren Bestandtheile. In dem schwefelsauren Wagnesia Kali bezeichnet man dagegen schwefelsaure Wagnesia und schwefelsaures Kali als die näheren, Schwefelsäure, Wagnesia und Kali als die entfernteren und Schwefel, Wagnesium, Kalium und Sauerstoff als die letzten Bestandtheile. Die näheren Bestandtheile lassen sich nicht in allen Verbindungen mit Sicherheit feststellen, wenigstens weichen die Ansichten der Chemiker hierin sehr von einander ab; dagegen hat die Bestimmung der letzten Bestandtheile keine Schwierigkeiten.

Wie schon angeführt, ist die Stärke der Verwandtschaft bei allen Körpern nicht gleich groß. Glauber war der erste, der es aussprach, daß ein Körper nicht gleiche Neigung habe, sich mit jedem beliebigen anderen zu verbinden. Er wußte auch, daß ein Körper eine Verbindung zerlegen kann, weil er zu dem einen Bestandtheil eine größere Verwandtschaft hat, als die andere sich besitzen. Namentlich hat auch Boyle die verschiedenen Grade der Verwandtschaft in vielen Fällen genau beobachtet und richtig angegeben. Je mehr sich die Kenntniß über die verschiedene Stärke der Verwandtschaft einzelner Substanzen zu einander erweiterte, suchte man hiernach die letzteren zu ordnen. Allerdings läßt sich die Kraft der chemischen Verwandtschaft nicht messen und ebenso wenig konnte man bestimmen, um wie viel die chemische Verwandtschaftskraft der einen Substanz größer ist, als die einer andern zu einer dritten *). Aber die größere oder geringere Verwandtschaft der Elemente und Verbindungen zu anderen läßt sich doch erkennen und so wurde es möglich, die Verwandtschaften der Körper unter einander in Form von Reihen darzustellen. Boyle gab dazu 1675 die erste Veranlassung, indem er erkannte, daß Kupfer, welches Silber aus seinen Auflösungen niederschlägt, seinerseits wieder durch Zink oder Eisen aus seinen Verbindungen abgeschieden werden kann. Glauber ordnete z. B. die Metalle nach ihrer Verwandtschaft zum Quecksilber, und Stahl nach der zum Schwefel. Umfassender wurden solche Verwandtschaftsreihen, 16 an der Zahl, von H. S. Geoffroy aufgestellt, die verbessert und erweitert, lange Zeit in hohem Ansehen standen, bis die 1775 von Bergmann veröffentlichten allgemein als die vollständigsten und richtigsten anerkannt wurden. Letzterer nahm hierbei auch besonders auf den Einfluß der Wärme Rücksicht, und dadurch namentlich unterscheiden sich seine Arbeiten auf das Vortheilhafteste von denen seiner Vorgänger. Bis gegen den Anfang unseres Jahrhunderts war die Einordnung der Körper in diese Verwandtschaftsreihen von derselben Wichtigkeit, wie heutiges Tages die Bestimmung des Atomgewichtes. Sogar Lavoisier beschäftigte sich damit, eine solche Reihe der Metalle in Bezug auf ihr Verhalten gegen den Sauerstoff aufzustellen.

In sehr vielen Fällen entsteht auch eine neue Verbindung, wenn man ein Element oder einen unzerlegten Körper auf Verbindungen oder letztere gegenseitig

*) Wittwer suchte (Compt. rend. T. XXXVIII, p. 780) aus der Wärmeerzeugung bei der chemischen Verbindung die Größe der Affinität abzuleiten. Auch Woods schlägt als Maß für letztere die Wärme vor. (Phil. Mag. [4] Vol. IV. p. 370.)

auf einander der Art einwirken läßt, daß eine Zersetzung oder Trennung stattfindet. Da es scheint, daß die Körper, welche die Zersetzung bewirken, unter den Bestandtheilen der zersetzten Verbindungen eine Wahl treffen, so nennt man die chemische Anziehung auch Wahlverwandtschaft und zwar spricht man von einer einfachen und einer doppelten. Die erstere findet statt, wenn man ein Element auf eine Verbindung oder eine einfachere Verbindung auf eine zusammengesetztere einwirken läßt. Behalten wir die allgemeinen Verhältnisse im Auge, so läßt sich für diese Vorgänge folgendes Schema aufstellen: $(A + C) + B = (A + B) + C$. $(A + C)$ ist hier der zusammengesetzte Körper, auf welchen die Einwirkung statt hat und B der einwirkende, der sich selbst für den Fall, daß er ein zusammengesetzter ist, sich mit einem der beiden gleichfalls zusammengesetzten Bestandtheile von $(A + C)$ verbindet. Lassen wir z. B. Eisen in der Glühhitze auf Schwefelauflösung einwirken, so ersetzt ersteres das Quecksilber und verbindet sich mit dem Schwefel zu Schwefeleisen. Oder bringen wir Schwefelsäure mit salpetersaurem Baryt zusammen, so treibt erstere die Salpetersäure aus und verbindet sich mit dem Baryt zu schwefelsaurem Baryt. Man sieht also, daß hier ein Körper an die Stelle eines anderen tritt, diesen also ersetzt, und deshalb nennt man diese Art der Zersetzung eine Zersetzung durch Substitution. Es ist bemerkenswerth, daß im Allgemeinen Verbindungen leichter durch Substitution als durch directes Zusammenbringen der Bestandtheile entstehen. Manche Verbindungen können, wie schon früher angedeutet wurde, nur auf diese Weise zu Stande gebracht werden.

Aber nicht immer wird durch die einfache Wahlverwandtschaft eine vollständige Zersetzung bewirkt, mitunter verbindet sich der einwirkende Körper nur mit einem Theile des einen Bestandtheiles der Verbindung, auf die er einwirkt, während der Rest desselben mit dem anderen Bestandtheil zusammenbleibt. Statt der einen neuen Verbindung entstehen hier also deren zwei oder der eine Bestandtheil verhält sich mit einem Theile des anderen so, wie ein näherer Bestandtheil der bisherigen Verbindung. Diese beiden Fälle lassen sich durch folgende Beispiele erläutern. Leitet man über glühendes Zink Kohlensäure, so entzieht ersteres der letzteren nur einen Theil ihres Sauerstoffs; als neue Bildungen treten also auf Zinkoxyd und Kohlenoxyd. Lassen wir dagegen Schwefelsäure auf Manganoxyperoxyd einwirken, so entläßt letzteres einen Theil des Sauerstoffs, während das übrig bleibende Manganoxydul sich mit der Schwefelsäure zu schwefelsaurem Manganoxydul verbindet.

Die doppelte Wahlverwandtschaft macht sich geltend, wenn zwei Verbindungen, im Allgemeinen von gleicher Ordnung, auf einander einwirken, wobei sich die Bestandtheile der beiden Verbindungen gegenseitig austauschen. Oft entstehen hierbei zwei neue Verbindungen derselben Ordnung oder es treten von den vier Bestandtheilen nur zwei zu einer neuen Verbindung zusammen, während die anderen beiden Bestandtheile sich getrennt von einander ausscheiden. Uebergießen wir z. B. Schwefeleisen mit Chlornasserstoffsäure, so geht die Zersetzung der Art vor sich, daß sich Schwefelwasserstoff und Chlorcisen bildet; bringen wir dagegen Auflösungen von schwefelsaurer Thonerde und kohlensaurem Kali zusammen, so werden zwar beide Verbindungen zersetzt, indem sich schwefelsaures Kali bildet, aber die Thonerde und die Kohlensäure treten nicht zusammen. Gießen wir dagegen zu einer Auflösung von eisenhaltigem Bleioxyd eine solche von chromsaurem Kali, so fällt chromsaures Bleioxyd nieder, während eisenhaltiges Kali in Lösung

bleibt. — Die Bezeichnung: doppelte Wahlverwandtschaft wurde zuerst von Bergmann in die Wissenschaft eingeführt, doch hatte schon Glauber eine vollkommene Einsicht in die hierbei auftretenden Vorgänge.

Unter den verschiedenen Verwandtschaftsarten, die noch zu verschiedenen Zeiten aufgestellt worden sind, wollen wir nur die ruhende und trennende Verwandtschaft, die wechselseitige und die prädisponirende Wahlverwandtschaft anführen. Mit der Bezeichnung ruhende Verwandtschaft belegte Kirwan 1781 zuerst die Kraft, welche die einzelnen Theilchen einer Verbindung zusammenhält und mit der diese der Trennung Widerstand leisten *). Trennende Verwandtschaft ist demnach die Kraft, mit der ein Körper einen Bestandtheil einer Verbindung an sich zu ziehen und die Zerlegung der Verbindung zu bewirken sucht. Soll die letztere zu Stande kommen, so muß natürlich die Kraft der zerlegenden Verwandtschaft größer sein, als die der ruhenden, denn nur so gelingt es, diese zu überwinden. Zuweilen unterstützt man die Kraft einer trennenden Verwandtschaft dadurch, daß man gleichzeitig eine zweite mitwirken läßt. So z. B. können wir die Kieselsäure durch Einwirkung von Chlor nicht zerlegen, ebenso wenig durch die der Kohle, selbst wenn wir auch die Erhitzung mit zu Hülfe nehmen; hier ist also die ruhende Verwandtschaft zwischen dem Kiesel und Sauerstoff größer als die trennende zwischen dem Chlor und dem Kiesel und zwischen der Kohle und dem Sauerstoffe. Leitet man aber über ein glühendes Gemenge von Kieselsäure mit Kohle Chlor, so wird die Kieselsäure zerlegt, indem sich Chlorsilicium und Kohlenoxyd bildet. Hier sind also die trennenden Verwandtschaften zwischen dem Chlor und Kiesel und der Kohle und dem Sauerstoff erst beide vereint im Stande, die ruhende Verwandtschaft zwischen dem Kiesel und Sauerstoff zu bewältigen.

Auf die wechselseitige Wahlverwandtschaft wurde zuerst 1778 von Macquer aufmerksam gemacht. Haben z. B. zwei Stoffe A und B eine gleich große Verwandtschaft zu einem dritten C, so kann, je nach nur wenig verschiedenen Nebenumständen, wie z. B. bei verschiedenen Temperaturen, bald A von C durch B oder auch B von C durch A abgeschieden werden. So erkannte z. B. schon Stahl, daß Quecksilberchlorür in der Kälte durch Silber zerlegt wird, während Quecksilber mit Hülfe der Wärme das Chlorsilber trennt. Die Verwandtschaftsäußerungen bei niedriger Temperatur stehen also denen bei höheren Wärmegraden geradezu entgegen; während dort die Verwandtschaft des Silbers zum Chlor größer ist, als die dieses Körpers zum Quecksilber, ist umgekehrt wieder die Verwandtschaft des Quecksilbers zum Chlor bei höherer Temperatur größer als die des Chlors zum Silber. Ueberhaupt ist die Temperatur, wie bereits angedeutet, von einem großen Einfluß auf die Verwandtschaftsäußerungen der verschiedenen Körper. Während sie oft die Verwandtschaft des einen zu dem anderen steigert, wird diese aber auch wieder durch eine Steigerung der Temperatur geschwächt, also Verbindungen, die bei einem niederen Temperaturgrade entstanden sind, bei einem höheren wieder aufgehoben. So z. B. steigert eine gewisse Wärme die Verwandtschaft des Quecksilbers zum Sauerstoff, während das Quecksilberoxyd bei größerer

*) Mitscherlich sucht (Pogg. Ann. Bd. LIII. S. 98) zu beweisen, daß außer der chemischen Verwandtschaftskraft bei vielen organischen Verbindungen noch eine andere, die Zerlegung derselben hindernde Ursache vorhanden ist.

Hitze in seine beiden Bestandtheile Quecksilber und Sauerstoff zerlegt wird. Häufiger finden diese Aenderungen in der Stärke der Verwandtschaft statt in Bezug auf drei verschiedene Körper. Außer den schon angeführten Chlor, Silber und Quecksilber giebt es noch viele andere, wo der eine bei niedriger Temperatur und der andere bei höherer Temperatur eine bei weitem größere Verwandtschaft zu einem dritten haben. Wirken also diese drei auf einander, so fallen die Resultate je nach der Temperatur auch verschieden aus. Während das Kalium das Kohlenoxyd in der Rothglühbige zerlegt, sich also Kali bildet und die Kohle ausgeschieden wird, wird das Kali wiederum in der Weißglühbige durch Kohle zerlegt. Während sich dort der Sauerstoff mit dem Kalium verbindet, vereinigt er sich hier mit der Kohle. Namentlich sind viele schwache Säuren, die bei gewöhnlicher Temperatur durch stärkere ausgetrieben werden, bei der Hitze im Stande, gerade die stärksten Säuren zu verjagen. — Ebenso können auch Verschiedenheiten in den Mengenverhältnissen, in denen verschiedene Körper auf einander einwirken, verschiedene Erfolge, also verschiedene Zerlegungen und Verbindungen hervorbringen. Uebergießen wir z. B. Fluormetalle mit überschüssiger Salzsäure, so erhalten wir Chlormetalle und Fluorwasserstoff, wogegen die Chlormetalle durch überschüssige Fluorwasserstoffsäure wieder in Fluormetalle und Chlorwasserstoff umgewandelt werden. Dergleichen ist hier auch das Lösungsmittel oder die Menge desselben von Einfluß. Uebergießen wir z. B. kohlensaures Kali mit verdünnter Essigsäure, so tritt ein Aufbrausen ein; die Kohlensäure wird ausgetrieben und entweicht, während sich essigsaures Kali bildet. Lösen wir das letztere aber in Alkohol auf und leiten wir dann Kohlensäure hindurch, so wird das essigsaure Kali zerlegt und es bildet sich wieder kohlensaures Kali. Concentrirte Salpetersäure wirkt z. B. auf gewisse Metalle, wie z. B. Zinn und Eisen gar nicht ein, während bei Zusatz von Wasser sofort eine sehr lebhafte Oxydation eintritt. Ein gleiches Verhalten zeigt diese Säure auch gegen einige kohlen saure Salze, wie z. B. die von Bleioryd, Kalk, Baryt und Natron. Ebenso wirkt die Salpetersäure in manchen Fällen anders, wenn sie mit Alkohol gemischt, als wenn sie mit Wasser verdünnt ist. Im ersteren Falle übt sie auf kohlen saures Kali keine Wirkung aus, wohl aber im letzteren. Hierbei scheinen die Löslichkeit und Unlöslichkeit der entstehenden Verbindungen in der gerade vorhandenen Flüssigkeit von Einfluß zu sein.

Als Urheber der prädisponirenden Verwandtschaft sind Fourcroy und Vauquelin anzusehen. Hier soll die chemische Wirkung eines Körpers auf einen anderen erst eintreten in Folge der Verwandtschaft zu einer Verbindung, die noch gar nicht existirt, sondern zu der nur die entfernteren Bestandtheile vorhanden sind. Eisen oder Zink sind z. B. nicht im Stande das Wasser bei gewöhnlicher Temperatur zu zerlegen, so wie man aber Schwefelsäure hinzusetzt, so findet eine Gasentwicklung statt, indem das Wasser in seine Bestandtheile zerlegt wird. Während der Wasserstoff entweicht, verbindet sich der Sauerstoff mit dem Eisen oder Zink zu Eisenoxydul oder Zinkoxyd und diese wieder mit der Schwefelsäure zu schwefelsaurem Eisenoxydul oder Zinkoxyd. Hier werden also Eisen und Zink durch die Schwefelsäure zur Zerlegung des Wassers veranlaßt und häufig schreibt man diese Wirkung der Schwefelsäure auf Rechnung ihrer Verwandtschaft zu dem noch gar nicht vorhandenen Eisenoxydul oder Zinkoxyd und deshalb sagt man, sie wirke durch prädisponirende Verwandtschaft oder sie prädisponire die Bildung von Eisenvitriol oder Zinkoxyd. Diese Bezeichnung ist aber nicht glücklich gewählt,

denn unmöglich kann ein Körper Verwandtschaft äußern zu einem anderen, während dieser noch gar nicht vorhanden ist.

Vereinigen sich ungleichartige Körper zu chemischen Verbindungen, so geschieht dies stets nach festen, unabänderlichen Verhältnissen. Allerdings vereinigen sich auch ungleichartige Körper in veränderlichen Verhältnissen mit einander und zwar gleichfalls zu gleichartigen Substanzen, ebenso wie die chemischen Verbindungen, jedoch macht man zwischen beiden einen Unterschied oder sagt sogar, daß jene gar nicht durch die chemische Anziehung zu Stande gebracht werden (vergl. die Art. Auflösung und Lösung).

Es hat einer mehrtausendjährigen Entwicklung bedurft, um zu der Einsicht zu gelangen, daß die chemischen Verbindungen stets nach festen, unabänderlichen Verhältnissen vor sich gehen, — gerade kein schmeichelhaftes Zeugniß für den menschlichen Geist, zumal eine Vorahnung sich schon sehr frühzeitig geltend machte. Schon in der alten Philosophie spielt die Zahl eine große Rolle und noch deutlicher drückt sich die Bibel aus, indem es im Buche der Weisheit lautet: „Alles ist geordnet nach Maß, Zahl und Gewicht.“ Ja es konnte sogar nicht ausbleiben, daß dieser Satz sich schon frühzeitig in den Laboratorien der alten Chemiker geltend machte und in der That finden wir schon bei *Weber* im 8. Jahrhundert Andeutungen über Mengenverhältnisse, die bei Darstellung chemischer Präparate inne zu halten seien. Seitdem *van Helmont* 1640 auf den Sättigungspunkt bei Mischung von Säuren und Basen aufmerksam gemacht hatte, scheint man bald allgemein angenommen zu haben, daß die Menge der Säure zu der des Alkali in einem bestimmten Verhältniß stehe. Denn schon bevor *Vörhawe* den Sättigungspunkt ganz richtig erklärte, hatte *Somberg* 1699 eine interessante Untersuchung, die erste dieser Art, angestellt, um zu erforschen, wie viel von den verschiedenen Säuren sich mit derselben Menge Alkali verbindet. Allerdings zog er ganz falsche Schlüsse aus seinen Beobachtungen, indem er annahm, daß stets von den verschiedenen Säuren eine gleiche Menge zur Sättigung erforderlich sei und daß die Verschiedenheit der Mengen eben nur durch den verschiedenen Wassergehalt der einzelnen Säuren bedingt werde.

Ueber diese Verhältnisse konnte erst Licht verbreitet werden, seitdem man anfang, sich mit der Zerlegung der Substanzen zu beschäftigen, also genaue chemische Analysen auszuführen. Der Vervollkommenung dieser Versuche verdanken wir die Begründung der Stöchiometrie (Messkunst der Bestandtheile, chemische Proportionslehre, Lehre von den chemischen Äquivalenten). Die hauptsächlichsten Anfänge dieser für die Wissenschaft heilbringenden Lehre schreibt man allgemein *Wenzel* zu, der 1777 in seiner Lehre von der Verwandtschaft die ersten Grundzüge der Stöchiometrie aufgestellt haben soll.

Nach *Verzelius* Vorgang ist dieser Arbeit in den Lehrbüchern der Chemie und namentlich auch in *Ropp's* Geschichte der Chemie ein zu großes Gewicht beigelegt und der eigentliche Begründer der Stöchiometrie, *Richter*, zu sehr in den Hintergrund gedrängt worden. *Wenzel's* Verdienste belaufen sich wesentlich darauf, daß er sich bemühte, durch zahlreiche Analysen, die aber bei genauerer Betrachtung das von *Verzelius* so reichlich gespendete Lob nicht immer oder gar nur in seltenen Fällen verdienen, wie dies ja auch in Rücksicht auf die damalige Ausbildung der chemischen Zerlegungskunst sehr leicht erklärlich ist, die festen procentischen Verbindungsverhältnisse, deren Existenz aber damals schon allgemein

bekannt war, zu erforschen. Von den heutigen Äquivalenten aber hatte Wenzel gar keine Ahnung und der ganze Gang seiner Untersuchungen konnte dahin auch nicht führen, wie dies auch von Döbereiner ausführlich dargelegt worden ist *). Es ist Wenzel gänzlich unbekannt, daß bei der Wechselzerlegung zweier Salze die Neutralität ungestört bleibt; ja indirect zieht er selbst den entgegen gesetzten Schluß. Entschieden klarer hatte dagegen Richter das, was noth that, zu einem gedeihlichen Fortschritt der Wissenschaft, erkannt. Schon seine Inaugural-Dissertation, die 1789 erschien und den Titel: de usu matheseos in chymia führte, macht uns mit dem Grundgedanken bekannt, welcher Richter's wissenschaftliche Thätigkeit während seines ganzen Lebens ausschließlich in Anspruch nahm. Wie er der ersten schwachen Spur einer mathematischen Gesetzmäßigkeit rastlos bis zu seinem Tode nachspürte, davon geben seine Stöchiometrie oder Messkunst chymischer Elemente (3 Theile 1792 bis 94), die das oben angeführte Motto aus der Bibel an der Stirne trägt, so wie das spätere periodische Werk: über die neueren Gegenstände in der Chemie, das er in der Zeit von 1792 bis 1802 bis zu 11 Stücken fortführte und das vom 4. Stück (1795) an ganz stöchiometrischen Inhalts ist und sich an das größere Werk als Fortsetzung anschließt, Zeugniß. Als Grund dieser fortgesetzten Publikationen giebt Richter die Erklärung in die Reichthum der gesunden Vernunft, womit ein besonders strenger, doch verdienstvoller Antiphylogistiker jeden Anderen bedrohte, und den betrübenden Umstand an, daß seine Stöchiometrie, ungeachtet ihrer gesunden und kräftigen Constitution, dennoch mit dem Versorgungspoßten eines Lathenbüblers abgefunden worden sei.

Die Mißachtung, welche Richter's Arbeiten seiner Zeit fanden, hat einen doppelten Grund. Zunächst hatte er, in Folge seiner vorwiegend mathematischen Anschauungsweise, die Form seines Vortrages für sein Publikum sehr unglücklich gewählt. Sein Werk ist weit mehr ein mathematisches als ein chemisches. Es ist mit einer Mosaik aus Erklärungen, Grundsätzen, Lehrlagen, Beweisen und Zusätzen zu vergleichen. Ein fließender Zusammenhang fehlt hier gänzlich und da der Chemiker hier die gewohnte erzählende und beschreibende Darstellung seiner Wissenschaft so ganz vermißte, so wie überhaupt meistens mit der Mathematik nicht sonderlich vertraut war, so mußte er von dem Studium dieses Werkes, in welchem ihm halbbebogenlange Nebenentwicklungen in streng mathematischen Formeln entgegenströmten, abgeschreckt werden. Dazu kam noch eine oft dunkle und unverständliche Sprache in der Formulirung der Lehr- und Grundsätze, deren Verständnis oft erst durch ein genaueres Studium des Beweises und der algebraischen Formeln erlangt werden konnte. Zu diesem Selbstverschuldeten gesellte sich aber noch Unverschuldetes. Zu dieser Zeit nahmen Lavoisier's Ansichten, besonders in Frankreich, die Chemiker ausschließlich in Anspruch; in diesem Kampfe fand man keine Zeit, Richter's drei Bände sorgsam zu studiren. Ganz abgesehen davon, daß es nicht Jedermanns Sache ist, einem Verfasser Schritt vor Schritt zu folgen, um ihn mit Sachkenntnis zu beurtheilen, machte es sich die Kritik zu leicht, über die neuen Lehren Richter's den Stab zu brechen. Wie man hierbei zu Werke ging, erkennen wir an Fries, der noch heute bei einer gewissen Schule in hoher Achtung steht. Dieser fand es z. B. unmöglich zu erklären, warum die

*) Deutsches Apothekerbuch. 1. Abth. S. 10.

Elemente in ihren Neutralitätsverhältnissen einem festen Gesetze folgen sollten, worauf ihm Richter die treffende Antwort zu Theil werden ließ, daß die Natur sehr arm sein würde, wenn sie sich auf das Beschränkte hätte, was für ihn und seine Kritik verständlich wäre. Mit mehr Grund verlangte ein anderer Kritiker von Richter, daß er einen kurzen Inbegriff seiner Lehre geben möge, welcher Jedermann zugänglich wäre. Aber eben die Fähigkeit, seine Gedanken mit Klarheit auszudrücken, ging Richter ab und daher seine Verurtheilung bei Mit- und Nachwelt. Denn selbst heute noch macht sich sehr selten ein Chemiker an das Studium der Richter'schen Werke. Richter's Arbeiten waren zum großen Theil auch der Art, daß sie wie die Lavoisier's durch ihre Neuheit und die Allgemeinheit der Resultate der Untersuchungen ein neues Feld eröffneten und große Wahrheiten verbreiteten, welche die Generation, unter deren Augen sie entstanden, hätten in Erstaunen setzen müssen. Doch der Erfolg beider Forscher war ein ganz verschiedener; seinen Triumph hat Lavoisier zumest seiner einfachen, streng logischen Sprache zu verdanken. Richter hat seine Missachtung außer den angeführten Umständen auch dem zu danken, daß er ein Deutscher war. Es ist unser altes Erbübel, daß wir Einheimisches gar nicht beachten oder mit Kälte aufnehmen, während wir Fremdes über alle Gebühr bewundern. Hielt es doch nicht einmal, wie Schweigger hervorgehoben hat *), die Akademie einer gerade die feinsten Bemerkungen liebenden Hauptstadt, in der Richter lebte, der Mühe werth, überhaupt von den Arbeiten desselben Notiz zu nehmen, viel weniger noch das ausgezeichnete Verdienst dieses Keyppler's der Chemie anzuerkennen. Als aber in Dalton's neuem System des chemischen Theils der Naturwissenschaften Richter's Ideen, freilich in einer neuen Einleitung, die den Gelehrten, damals in mehr als einer Beziehung zum Mysticismus der alten Adepten sich hinneigend, besser zusagte, aus der Fremde in die Heimath zurückkehrten, da wurden sie mit Beifall aufgenommen und Niemand ahnte, daß unter diesen bunten Lappen Nichts verborgen sei, was nicht schon längst der bekannte Landsmann auf eine viel bessere und vernünftigeren, nämlich streng mathematische Weise gelehrt hatte. Ganz an Vertheidigern hat es Richter indessen nicht in seinem Vaterlande gefehlt. Die erste Anerkennung, freilich nur bedingungsweise, fand er bei dem achtungswerthen Mathematiker und Physiker G. W. Fischer, der in der Uebersetzung von Berthollet's *Recherches sur les lois de l'affinité* einen Auszug aus Richter's *Stoichiometrie* gab, der späterhin in Vertbollet's *Essai de statique chimique* (1803) mit überging. Schon in früher Zeit nahm sich Schweigger Richter's besonders an **) und noch kurz vor seinem Tode schrieb jener diesem eine kräftige Lobrede ***). Selbst die öffentliche Rede, welche Hess am 29. Decbr. 1840 in der Petersburger Akademie über Richter's Arbeiten gehalten hatte, war lange vor Kopp's Geschichte der Chemie erschienen ****) und doch finden wir hier keine dieser Abhandlungen berücksichtigt.

*) Entstehung und Bedeutung der Akademien. (Böslau's neue Jahrbücher der Geschichte und Politik. 1848. März. S. 198.)

**) Schweigger's Journ. Bd. X. S. 335.

***) Ueber stoichiometrische Reihen im Sinne Richter's. Nachtrag zu den Lehrbüchern der Chemie überhaupt. Halle 1833.

****) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XXIV. S. 420.

Auch im Auslande fand Richter bei einigen Wenigen ehrende Anerkennung, die aber nicht ausreichte, um die allgemein herrschenden vorgefaßten Meinungen zu widerlegen. Vorur noch Richter's Arbeiten durch Berthollet's *Essai de statique chimique* in Frankreich allgemeiner bekannt geworden, erkannte schon 1798 Guyton Richter als den Begründer des mathematischen Theiles der Chemie an *) und ebenso in England Wollaston und Davy, also die hervorragendsten Chemiker jener Zeit.

Schon vor Richter hatte Bergmann darauf aufmerksam gemacht, daß zwei neutrale Salze durch Wechselzerlegung wieder neutrale Salze geben. Dieser Satz war es besonders, den Richter verfolgte und der ihn zur Erkenntniß des Äquivalentengesetzes führte. Namentlich das 4. Stück seines periodischen Werkes läßt die große Wichtigkeit von Richter's Leistungen erkennen; dasselbe enthält Wahrheiten, welche man für alle Zeiten als die wichtigsten Fortschritte der Wissenschaft anerkennen muß. Hier setzt Richter beispielsweise an der Flußsäure seine analytische Methode, die nöthigen Grundlagen für die Aufstellung seiner Massenreihen, d. h. die relativen Gewichtsmengen, in denen sich die Säuren mit den Basen verbinden, zu gewinnen, aus einander. Nachdem er die Menge verschiedener Basen gefunden hatte, von denen 1000 Th. durch Fluorwasserstoffsäure gesättigt wurden, bedurfte er einer Bestätigung des von ihm Gefundenen. Er zerlegte daher Flußspath durch Schwefelsäure und bestimmte die Menge Kalk, welche in jenem enthalten, aus dem schwefelsauren Salze. Wie Richter die Folgerungen seiner Versuche auszudehnen wußte, lehren uns folgende Sätze. „Wenn zwei determinirte Elemente, also zwei Säuren, jede zu 1000 genommen, sich mit den Stoffen a, b, c, d und $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ etc. verbinden, doch so, daß a immer derselbe Stoff wie α , b derselbe als β , und zwei solche Verbindungen sich so zerlegen, daß die Producte neutral bleiben, — so sind a, b, c, d in demselben Verhältniß zu einander als $\alpha, \beta, \gamma, \delta$. Dieser Satz ist ein wirklicher Probierstein für alle Versuche, welche sich auf die Neutralität beziehen. Denn wenn die Resultate mit diesem Satze nicht übereinstimmen, so muß man sie ohne Bedenken verwerfen.“ Diesen Satz benutzte Richter sehr häufig zur Kritik seiner eigenen Arbeiten, so wie der Versuche anderer Chemiker. Er weist z. B. dadurch nach, daß die von Berthollet angegebene Zusammensetzung der Schwefelsäure falsch sei. Dasselbe zeigt er von vielen Analysen Wenzel's, Bergmann's, Kirwan's, Wiegley's, dagegen bestätigte er Klaproth's Analyse des Strontianids. Mit diesem Satze steht und fällt Richter's ganze Bedeutung. Er verfolgt ihn bis zu allen daraus ableitbaren Folgerungen und Nichts kann die Tiefe seiner Ueberzeugung in dieser Hinsicht besser darthun, als einige Worte, die wir in der Vorrede zum 10. Stücke seines periodischen Werkes finden. „Die Sätze der Stöchiometrie“, sagt er, „begreifen eine Nothwendigkeit in sich; sie können construiert werden und haben den Werth von Principien a priori.“

Um Richter's Verdienste um die Stöchiometrie, die Poussole, ohne welche die Chemiker keinen Schritt vorwärts bringen können, gehörig würdigen zu können, wollen wir hier die Tabelle, in welcher Fischer die Resultate der Untersuchungen Richter's zusammenstellte, einfügen:

*) *Annal. de Chymie*, T. XXV.

Grundlagen (Basen):		Säuren:	
Thonerde	525	427 Flußspathsäure.	
Kalkerde	615	517 Kohlen säure.	
Ammonium	672	706 Fett säure.	
Kalkerde	793	712 Salz säure.	
Natron	859	755 Klee säure.	
Strontianerde	1329	979 Phosphor säure.	
Kali	1605	988 Ameisen säure.	
Baryt	2222	1000 Schwefel säure.	
		1209 Bernsteinsäure.	
		1405 Salpetersäure.	
		1480 Essig säure.	
		1583 Citronensäure.	
		1694 Weinsäure.	

Der Sinn dieser Tafel, sagt Richter, ist folgender: „Wenn man aus einer der beiden Columnen einen Stoff nimmt, z. B. aus der ersten Columnen Kali, wobei die Zahl 1605 steht, so zeigen die sämmtlichen Zahlen der zweiten Columnen an, wie viel von jedem Stoffe dieser Columnen nothwendig sei, um 1605 Theile Kali zu sättigen. Nimmt man umgekehrt einen Stoff aus der zweiten Columnen, so zeigen die Zahlen der ersten Columnen an, wie viel von jedem Stoff dieser Columnen erforderlich sei, um jenen zu neutralisiren.“

Diese Tabelle giebt indessen nur ein sehr unvollständiges Bild von Richter's experimentellen Arbeiten, indem hier die Metalle durchaus nicht berücksichtigt sind. Bei weitem vollständiger — 30 Basen und 18 Säuren umfassend — ist die Tabelle, welche Richter selbst dem Artikel Neutralität in Bourguet's chemischem Handwörterbuche, dessen Fortsetzung er übernommen hatte, anhängte.

Richter hatte nicht allein die umfassendsten Kenntnisse über die Grundlagen der Stöchiometrie durch seine Arbeiten gewonnen, sondern wir verdanken ihm auch noch eine Reihe der schönsten Entdeckungen auf dem Gebiete der Chemie überhaupt. Er hat das zweite Gesetz der Stöchiometrie, das der Äquivalente, völlig aufgestellt und ausgebildet und dadurch wurde er der Gründer dieser Wissenschaft. Daß seine Zahlen wenig mit den heutigen übereinstimmen, thut der Sache keinen Abbruch. Die ungenauen Resultate seiner Analysen haben darin ihren Grund, daß er mit großen Massen arbeitete, und dann waren die analytischen Methoden selbst noch unvollkommen. Um hier eine Aenderung zu schaffen, bedurfte es eines Verzeihers.

Die Ueberzeugung hatte sich indessen bei den Chemikern festgestellt, daß sich die Körper nur in wenigen und bestimmten Verhältnissen zu chemischen Verbindungen vereinigen. Dies eben hielt Lavoisier für ein wesentliches Kennzeichen einer chemischen Verbindung, so daß er diese bestimmt von den Lösungen, bei welchen die Verhältnisse eben wandelbar sind, unterschied. Berthollet trat jedoch zu Anfang unseres Jahrhunderts mit der entgegengesetzten Ansicht auf. Er behauptete, daß sich die Körper zu chemischen Verbindungen vereinigen können, entweder in allen Verhältnissen, oder innerhalb bestimmter Grenzen, die ihren Ursprung haben: 1) in der Eigenschaft der chemischen Verwandtschaft, daß die Kraft, mit der ein Bestandtheil der Verbindung den anderen festhält, in dem Grade

abnimmt, als die Menge dieses anderen Bestandtheils wächst, und 2) in der Cohäsion der Bestandtheile und der gebildeten Verbindung oder der Elasticität derselben, zweien mit der Temperatur variirenden Kräften. Berthollet's Ansehen und der Scharfzinn, mit dem er diese Meinungen entwickelte, verschafften ihm viele Anhänger. Unter seinen Gegnern ist vorzüglich Proust anzuführen, der zu beweisen suchte, daß die Verbindungen nur in wenigen und bestimmten Verhältnissen stattfinden können. Dieser Streit endigte sich zu Gunsten des Letzteren und führte überhaupt eine vollständige Entscheidung dieser Frage herbei.

Noch während dieses Streites hatte namentlich Dalton die von Proust empirisch aufgefundenen Thatsachen einer allgemeinen Betrachtungsweise unterworfen, die zu dem dritten wichtigen Gesetz der Stöchiometrie, dem der multiplen Proportionen führte. Dabin wäre sicher auch Richter gelangt, wenn ihm nur eine hinreichende Anzahl von genauen Analysen zu Gebote gestanden hätten. Ist dieses Gesetz auch fast das wichtigste in der Stöchiometrie, so können wir Dalton doch nicht als den Begründer dieser Wissenschaft ansehen, sondern ihm nur das Verdienst beilegen, daß er die speculativen Betrachtungen älterer Chemiker weiter ausgeführt und sie in Zusammenhang mit Richter's Entdeckungen gebracht hat.

Bei seiner Untersuchung der Kohlenwasserstoffe fand Dalton nämlich, daß das leichte Kohlenwasserstoffgas auf dasselbe Gewicht Kohlenstoff genau doppelt so viel Wasserstoffgas enthält als das ölbildende Gas. Als er dieselbe Regelmäßigkeit in anderen ähnlichen Verbindungen beobachtete, entdeckte er, daß, wenn ein Bestandtheil sich in verschiedenen Gewichtsmengen mit derselben Gewichtsmenge eines anderen Bestandtheiles verbindet, die ersteren Gewichtsmengen unter einander Multipla sind. Allerdings hatte auch schon Proust ausgemittelt, daß, wenn zwei Bestandtheile sich in mehrfachen Verhältnissen verbinden, dies sprungweise und nicht durch allmätige Zwischenlieder, also ganz entgegen dem alten Spruche: „natura non agit per saltum“, geschieht. Aber da er die Resultate stets in Procenten ausdrückte, so entging ihm die Entdeckung dieses wichtigen Gesetzes.

Als den Schöpfer der heutigen Stöchiometrie haben wir indessen Berzelius anzusehen, der alle Arbeiten seiner Vorgänger weit hinter sich zurückließ. Was Richter, Dalton und Gay-Lussac nur für verhältnißmäßig wenige Verbindungen festgesetzt hatten, suchte er mit vielem Glück zu erweitern und zu verallgemeinern. Alle hier in Betracht kommenden Zahlenverhältnisse bestimmte er auf das Sorgfältigste. Doch dürfen wir nicht vergessen, daß er die Anregung dazu, wie er es selbst gesteht, aus Richter's Schriften schöpfte. Seinem Geiste entging beim Studium dieser Werke die Wichtigkeit der darin niedergelegten Ansichten nicht. Seine Bemühungen, diese nutzbar zu machen, haben nicht wenig dazu beigetragen, daß er ein Ansehen unter den Chemikern erlangte, wie kaum einer zuvor und für lange Zeit noch wird so leicht sein Name wohl durch keinen zweiten an Glanz verlieren oder wohl gar verdunkelt werden. Um so mehr ist es zu verwundern, wie gerade Berzelius dazu beitragen konnte, den Ruhm Richter's gegen den Wenzel's so zurückzustellen, zumal er, als er anfang, sich mit dieser neuen Wissenschaft zu beschäftigen, Richter's Verdienste dankbar hervorhob. „Richter's Abhandlungen“, schreibt Berzelius in einem Briefe an Gehlen vom 14. August 1810 *), „enthalten so viele vortreffliche und neue

*) Schweigger's Journ. für Chemie und Phys. Bd. 1. S. 237.

Berechnungen für die Verwandtschaftslehre, daß ich nicht begreife, wie sie seit 1791 haben so unbeachtet bleiben können.“ Auch in seiner ersten stöchiometrischen Abhandlung *) erkennt Berzelius an, daß das Verdienst der Auffindung der bestimmten Mischungsverhältnisse Richter gebührt, und doch theilt er dasselbe später **) Wenzel zu, der von diesem Geſetz ſchlechterdings keine Ahnung hatte.

Als erste Grundlage der Stöchiometrie haben wir also die Aequivalenz (die Gleichwerthigkeit) verschiedener Gewichtsmengen von verschiedenen, chemisch ähnlich wirkenden Körpern anzusehen. Dies wurde, wie bereits angeführt, zuerst bei der Sättigung der Basen mit Säuren beobachtet. Thun wir z. B. zu einer Kalilösung nach und nach Schwefelsäure hinzu, so beobachten wir einen Punkt, wo sich weder die Natur der Säure äußert, noch die der Base. Dies ist der Neutralisations- oder Sättigungspunkt, ein Ausdruck, der von dem lebenden Organismus entlehnt ist. Wir haben dann die Lösung eines neutralen Salzes vor uns. Verfahren wir nun mit anderen Säuren ebenso, so beobachten wir, daß die Mengen, die davon gebraucht werden, verschieden sind. Betrachten wir z. B. die Mengen der wasserfreien Schwefel- und Salpetersäure, die hierzu erforderlich sind, so ergibt sich, daß die Menge der letzteren größer ist als die der ersteren und zwar im Verhältniß von 4 : 3. In welcher Verdünnung mit Wasser wir diese beiden Säuren auch anwenden mögen, die Mengen der darin enthaltenen wasserfreien Salpeter- und Schwefelsäure verhalten sich stets wie 4 : 3. Sättigen wir andere Basen mit diesen Säuren, so werden dazu allerdings andere Mengen erforderlich, aber diese stehen doch wieder in demselben Verhältniß zu einander. Ganz dasselbe gilt auch von den Basen. Wie man zur Sättigung ein und derselben Menge einer Säure verschiedene Mengen der verschiedenen Basen gebraucht, ebenso zur Sättigung ein und derselben Menge einer Base verschiedene Mengen der verschiedenen Säuren. Wie aber die Mengen der Salpeter- und Schwefelsäure, die zur Sättigung verschiedener Basen erforderlich sind, stets in einem bestimmten Verhältniß zu einander stehen, so auch die Mengen Basen, die nöthig sind, um ein bestimmtes Gewicht irgend einer Säure zu sättigen. Beim Kalk und Baryt z. B. verhalten sich diese Mengen wie 4 : 11, beim Kali und Natron dagegen wie 3 : 2. Wir können daher sagen: 4 G.-Th. Salpetersäure und 3 G.-Th. Schwefelsäure sind chemisch gleichwerthig oder gleichwirkend, gegen welchen dritten Körper man auch die Wirksamkeit der beiden Säuren sich äußern läßt; ebenso sind wieder gleichwerthig: 4 G.-Th. Kalk und 11 G.-Th. Baryt und 3 G.-Th. Kali und 2 G.-Th. Natron.

Das Aequivalenzverhältniß zweier Basen oder zweier Säuren ist demnach ein feststehendes. Haben wir gefunden, daß zur Sättigung von 100 G.-Th. wasserfreier Schwefelsäure und 135 G.-Th. wasserfreier Salpetersäure dieselbe Menge, 118 G.-Th. Kali, erforderlich sind und daß die angeführte Menge Schwefelsäure durch 191 G.-Th. Baryt gesättigt wird, so müssen letztere auch zur Sättigung von 135 G.-Th. Salpetersäure ausreichen. Daher müssen denn auch bei gegenseitiger Zerlegung zweier neutralen Salze wiederum neutrale Salze entstehen, wie dies leicht aus den vorstehenden Zahlen ersichtlich ist, wenn wir z. B. schwefelsaures Kali und salpetersauren Baryt auf einander einwirken lassen.

*) Gilbert's Annal. Bd. XXXVII. S. 280.

**) Lehrbuch der Chemie. 3. Aufl. Bd. V. S. 16.

Kennt man das Äquivalenzverhältniß von verschiedenen Säuren und Basen, so sind damit auch die Verhältnisse gegeben, in denen sich die verschiedenen Säuren und Basen unter einander verbinden. So z. B. sind äquivalent:

100 Th. Schwefelsäure	neutralisirend	65 G.-Th. Ammoniumoxyd.
135 " Salpetersäure		118 " " Kali.
55 " Kohlenäure		191,2 " " Baryt.
108 " unterchlorige Säure		70 " " Kalk.
90 " Oxalsäure		77,5 " " Natron.
127,5 " Essigsäure		279,2 " " Bleioxyd.
92,5 " Ameisensäure		88,8 " " Manganoxydul.
165 " Weinsäure	10.	51,5 " " Manganoxydul 10.

Hiermit sind die Verhältnisse gegeben, in denen sich die vorstehenden 8 Säuren mit den nebenstehenden 8 Basen zu 64 neutralen Salzen verbinden können. Jede der 8 Säuren wird in den angegebenen Mengen durch jede der 8 Basen gesättigt und wiederum jede der 8 Basen durch jede der 8 Säuren. Diese Zahlen und die Folgerungen daraus lassen sich auf sämtliche Basen und sämtliche Säuren ausdehnen. Die vorstehenden Zahlen nennt man demnach Äquivalentgewichte, weil sie die Gewichte der verschiedenen Substanzen angeben, in denen diese dieselbe chemische Wirkung hervorbringen, also sich in einem gewissen Sinne ersetzen können, d. h. die Säuren unter einander und ebenso auch die Basen. Man hat allerdings diesen Begriff auch auf ungleich wirkende Substanzen übertragen, indem man z. B. sagt, daß 135 G.-Th. Salpetersäure gleichwerthig seien mit 118 G.-Th. Kali. Man will damit aber weiter nichts sagen, als daß 118 G.-Th. Kali 135 G.-Th. Salpetersäure sättigen, oder daß die angegebenen Mengen beider erforderlich seien, um die Eigenschaften der Säure und Base aufzuheben.

Diese Zahlen sind indessen keine absoluten, sondern nur relative, indem sie der einzelnen Substanz nicht an sich, sondern nur in Bezug auf die übrigen zukommen. Nur in diesem Sinne haben sie eine Bedeutung. Man kann diese Zahlen daher auch beliebig verändern; wollten wir z. B. der Salpetersäure die Zahl 100 beilegen oder irgend einer Base, so würden wir ganz andere Zahlen erhalten, aber das Verhältniß, in dem sie unter einander stehen, würde wiederum dasselbe sein. Die Zahlen für sich sind demnach unwesentlich, aber das Verhältniß ist das Constante.

Sind auch die Mengen der verschiedenen Basen, die zur Sättigung ein und derselben Menge einer Säure erforderlich sind, sehr verschieden, so enthalten sie doch, wie wir bereits in dem Art. Säuren, Bd. V. S. 672 gesehen haben, stets dieselbe Menge Sauerstoff.

Was wir hier in Bezug auf die Säuren und Basen erörtert haben, wiederholt sich bei allen einfachen Stoffen; auch sie verbinden sich stets nur in bestimmten Verhältnissen unter einander, wie dies durch zahlreiche Erfahrungen ermittelt worden ist. Im Wasser z. B. finden wir stets auf 1 G.-Th. Wasserstoff 8 G.-Th. Sauerstoff; im Schwefelwasserstoff dagegen auf 1 G.-Th. Wasserstoff 16 G.-Th. Schwefel und im Bromwasserstoff 80 G.-Th. Brom. Sei es nun, daß wir Metalle oder irgend ein anderes Element mit Sauerstoff, Schwefel oder Brom verbinden, so werden auf dieselbe Menge jener stets 2 Mal so viel Schwefel und 10 Mal so viel Brom erforderlich sein als Sauerstoff, oder mit anderen Worten,

1 G.-Th. Sauerstoff wirkt ebenso viel als 2 G.-Th. Schwefel und 10 G.-Th. Brom, d. h. er nimmt bei der Vereinigung mit anderen Elementen ebenso viel von der anderen Substanz in Anspruch, wie die weit größeren Gewichtsmengen von Brom und Schwefel. In den Zahlen 1 : 2 : 10 ist also die Äquivalenz von Sauerstoff, Schwefel und Brom ausgedrückt.

Wir können zwar nicht jedes beliebige Element mit allen übrigen direct verbinden, aber dennoch hat jedes derselben seine bestimmte Zahl, eben die Äquivalenzzahl oder das Äquivalentgewicht erhalten, indem gewisse Elemente hierbei als Vermittler dienen. Wie dies zu verstehen ist, wird das folgende Beispiel deutlich machen. Der Wasserstoff verbindet sich z. B. nur mit wenigen Metallen; dagegen aber kennen wir vom Wasserstoff Verbindungen mit Sauerstoff, Schwefel und Chlor und zwar verbindet sich 1 G.-Th. Wasserstoff mit 8 G.-Th. Sauerstoff zu Wasser, mit 16 G.-Th. Schwefel zu Schwefelwasserstoff und mit 35,5 G.-Th. Chlor zu Chlorwasserstoffsäure. Sauerstoff, Schwefel und Chlor verbinden sich aber sehr leicht mit den Metallen und dienen deshalb als Mittelglieder. Auf verschiedene Art wird es daher möglich, fast alle Elemente unter einander in eine gewisse Beziehung zu setzen, obgleich sie nicht alle in demselben chemischen Sinne wirken. Da nun aber die Elemente sich auch, wie wir bald sehen werden, in verschiedenen Verhältnissen unter einander verbinden, so muß man hier von dem bereits Feststehenden auf das noch Unbekannte schließen. Wie dies geschieht, wollen wir durch einige Beispiele erläutern. Das Eisen z. B. verbindet sich mit Sauerstoff, Chlor und Schwefel in verschiedener Weise. Um das Äquivalentgewicht desselben zu ermitteln, vergleicht man die Sauerstoffverbindungen des Eisens mit den Sauerstoffverbindungen anderer Metalle, welche die meiste chemische Ähnlichkeit mit jenen besitzen und von denen feststeht, daß sie die einzigen Sauerstoffverbindungen dieser Metalle sind. So z. B. krystallisirt das schwefelsaure Eisenoxydul mit dem schwefelsauren Zinkoxyd und Magnesiumoxyd zusammen und dadurch wird es möglich, das Äquivalentgewicht des Eisens zu bestimmen. In dem Eisenoxydul finden sich 8 G.-Th. Sauerstoff mit 28 G.-Th. Eisen verbunden, also dieselbe Sauerstoffmenge, die sich mit 1 G.-Th. Wasserstoff zu Wasser, mit 12 G.-Th. Magnesium zu Magnesiumoxyd und mit 32,6 G.-Th. Zink zu Zinkoxyd verbindet. Nun läßt sich auch die Zusammensetzung des Eisenoxydes deuten, in welchem wir 56 G.-Th. (also 2 Äquivalente) Eisen mit 24 G.-Th. (also 3 Äquiv.) Sauerstoff verbunden finden, und dieses dient wieder, wegen der Ähnlichkeit in dem chemischen Verhalten, zur Vergleichung mit der Thonerde. Es giebt allerdings einzelne Oxyde, wie z. B. die Beryllerde, bei denen sich die Ähnlichkeit mit anderen bekannten Sauerstoffverbindungen der Metalle nicht feststellen läßt, und da bleibt auch das Äquivalent oder die Zusammensetzung jener zweifelhaft.

In anderen Fällen, wo man dieses Verhältniß bei zwei Elementen nicht direct bestimmen kann, bieten die Salze, in welchen beide enthalten sind, einen Ausweg, der freilich mitunter auch, wie z. B. bei der Kieselsäure, nicht zum Ziele führt. Aber noch andere Schwierigkeiten stellen sich diesen Bestimmungen entgegen. So sind z. B. die Verbindungen einiger Elemente nicht chemisch rein zu erhalten, oder ein Element kann hinsichtlich seines chemischen Verhaltens mit keinem zweiten verglichen werden, oder man ist zweifelhaft, mit welchem. In diesen Fällen, deren indessen nur wenige existiren, muß man auch die physikalischen

Eigenschaften mit zu Rathe ziehen und sich über die Zahl einigen, die man dem Elemente beilegen will.

Auch hier sind die Äquivalentzahlen oder Äquivalentgewichte nur relative und nicht absolute Zahlen. Sie haben daher nur Werth, insofern sie auf eine willkürlich gewählte Grundlage bezogen werden, ähnlich wie man bei den Bestimmungen des spec. Gewichtes der Flüssigkeiten stets auf das Wasser zurückgeht. Als solche dient der Sauerstoff, dem Berzelius die Zahl 100 beigelegt hat, weil er glaubte dadurch eine Erleichterung bei den Berechnungen herbeizuführen. Denn die meisten Körper, mit denen sich die Chemie beschäftigt, sind Oxyde (Sauerstoffverbindungen) oder Verbindungen von Oxyden. In neuerer Zeit zieht man es aber allgemein vor, nach Dalton den Wasserstoff mit der Zahl 1 als Grundlage anzunehmen, weil dadurch die Zahlen kleiner und die Rechnung bequemer werden.

In folgender Tabelle stellen wir die Äquivalentzahlen oder Äquivalent- oder Mischungsgewichte *) der Elemente, wie sie zumieist mit großer Sicherheit ermittelt und daher auch von der Mehrzahl der Chemiker angenommen worden sind, zusammen, mit der Berücksichtigung der beiden erwähnten Grundlagen, denen wir zugleich noch die Äquivalente, wie sie Gerhard und Laurent annehmen, zur Seite setzen **).

*) Diese Bezeichnung zieht man in neuerer Zeit dem sonst mehr gebräuchlichen Namen Atomgewicht vor, und dies ist in sofern richtiger, als, ganz abgesehen von dem Streite um die Atome, diese Zahlen nicht das Gewicht eines einzelnen Atomes, sondern sehr vieler, also einer Masse sind.

**) Mulder hat eine sehr vollständige historisch-kritische Uebersicht der von anderen Chemikern ausgeführten Untersuchungen zur Bestimmung der Äquivalentgewichte einer großen Zahl (24) Metalle gegeben. Utrecht 1853. — Erdmann führt (Journ. f. prakt. Chem. Bd. LV. S. 193) Klage, daß noch immer Mischungsgewichte gebraucht werden, die zwar von Berzelius herrühren, aber schon lange durch genauere Untersuchungen, die besonders durch ihn und Marchand gemeinsam ausgeführt worden sind, erhebliche Berichtigungen erfahren haben. Dann macht er darauf aufmerksam, wie sinnlos die Aufzählung einer langen Reihe von Decimalen bei diesen Zahlen ist, die oft selbst in den Einheiten unsicher sind. — Dumas, über die Atomgewichte und die Möglichkeit der Zerlegung der sogenannten chemischen Elemente. L'inst. 1831 S. 303. — Einbrodt, Berechnung der chemischen Äquivalente aus den Versuchen. Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXX. S. 281. Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLVI. S. 279. — Osann, über die Bestimmung der Äquivalentgewichte auf hydroelektrischem Wege (Neue Beiträge zur Chem. u. Phys. 6. Lieferung S. 171). Schon früher hatte Faraday gefunden, daß 1 Äquiv. Zink 1 Äquiv. Wasser zerlegt. Nach ihm sind daher die äquivalenten Gewichte der Körper einfach diejenigen Mengen, welche gleiche Elektrizitätsmengen enthalten oder gleiche elektrische Kräfte besitzen. — Horsford, über den Zusammenhang der Äquivalentgewichte mit den chemischen Eigenschaften. Silliman, Americ. Journ. T. IX. p. 176. — H. Rose beleuchtet (Bericht der Berliner Akad. d. Wissensch. 1857. S. 18) die Veränderungen, welche L. Gmelin mit den Atomgewichten von Berzelius vorgenommen hat.

		O = 100		H = 1		Äquivalent nach Berthard und Laurent		O = 100		H = 1		Äquivalent nach Berthard und Laurent			
						O = 100		H = 1				O = 100		H = 1	
Aluminium	Al	170,900	13,694	85,63	13,70	Natrium	Na	289,729	23,215	143,75	23,00				
Antimon	Sb	1612,903	129,239	403,25	64,50	Wismut	Ni	369,330	29,594	185,00	29,60				
Arten	As	938,800	75,224	468,50	75,00	Antimon	Os	1242,624	99,569						
Baryum	Ba	855,290	68,533	425,00	68,00	Phosphor	Pd	665,477	53,323						
Beryllium	Be	87,124	6,981			Phosphor	P	392,041	31,414	200,00	32,00				
Blei	Pb	1294,645	103,738	650,00	104,00	Platin	Pl	1232,080	98,724	618,75	99,00				
Bor	B	136,204	10,914	67,50	10,80	Quecksilber	Hg	1251,290	100,026	625,00	100,00				
Brom	Br	999,620	80,098	500,00	80,00	Rhodium	R	651,962	52,240						
Cadmium	Cd	696,767	55,831	350,00	56,00	Ruthenium	Ru	651,000	52,163						
Calcium	Ca	251,651	20,164	125,00	20,00	Sauerstoff	O	100,000	8,000	100,00	16,00				
Cerium	Ce	590,800	47,264			Schwefel	S	200,730	16,086	200,00	32,00				
Chlor	Cl	443,280	35,517	221,87	35,50	Selen	Se	495,285	39,686	490,90	78,50				
Chrom	Cr	328,870	26,352	162,50	26,00	Silber	Ag	1349,660	108,146	675,00	108,00				
Cobalt	Co	620,000	49,600			Silicium	Si	277,778	22,258	87,50	14,00				
Eisen	Fe	350,527	28,087	175,00	28,00	Stickstoff	N	175,060	14,027	87,50	14,00				
Fluor	Fl	235,435	18,865	116,85	18,60	Strontium	St	545,929	43,744	275,00	44,00				
Gold	Au	2458,330	196,982	1225,00	196,00	Tantal	Ta	1148,365	92,016						
Indium	In	1585,992	127,082	787,50	126,00	Tellur	Te	801,760	64,244	800,00	128,00				
Kalium	K	488,856	39,171	243,75	39,00	Thorium	Th	743,860	59,604						
Kobalt	Co	368,650	29,536	185,00	29,60	Titan	Ti	301,550	24,158	750,00	120,00				
Kohlenstoff	C	75,120	6,019	75,00	12,00	Uran	U	742,875	59,525						
Kupfer	Cu	395,600	31,699	198,75	31,80	Vanadium	V	856,892	68,661						
Lanthan	La	588,000	47,040			Wasserstoff	H	12,480	1,000	6,25	1,00				
Lithium	Li	81,660	6,543	40,16	6,40	Wismuth	Bi	1330,377	106,600	1312,50	210,00				
Magnesium	Mg	158,140	12,671	75,00	12,00	Zinn	W	1188,360	95,221	600,00	96,00				
Mangan	Mn	344,684	27,619	175,00	28,00	Zinn	Zn	406,890	32,879	206,25	33,00				
Mercur	Hg	596,100	47,764	143,75		Zinn	Sn	735,294	58,918	368,75	59,00				
Neuboden						Zinn	Zr	419,728	33,632						

Bei den wenigen Elementen, die in vorstehender Tabelle nicht aufgeführt sind, ist das Äquivalentgewicht noch nicht ermittelt. Immer noch finden Revisionen der verschiedenen Äquivalentgewichte statt, deren Resultate man in dem chemischen Centralblatt seit 1851 findet.

Proust stellte zuerst die Ansicht auf, daß die Äquivalentgewichte der Elemente einfache Multipla von dem des Wasserstoffs seien. Um die einzelnen Zahlen mit seiner Ansicht in Einklang zu bringen, änderte er willkürlich viele Analysen, durch welche das Äquivalent der Elemente festgestellt worden war, um. Berzelius erklärte sich dagegen *) und führte an, daß kein natürlicher Grund zu dieser Annahme vorhanden sei. Dumas nahm indessen später den Gedanken von Proust wieder auf **), meinte jedoch, daß, wenn auch im Allgemeinen seine Versuche damit übereinstimmen, eine vollständige Revision der Äquivalentgewichte nothwendig sei. Pelouze ***), fand die Ansicht zum Theil bestätigt, zum Theil aber auch nicht. Liebig hat darauf hingewiesen ****), daß, wenn die Äquivalente mehrerer Elemente genaue Multipla von dem des Wasserstoffs sind, dies eben nur eine Thatsache, aber nicht theoretisch Begründetes sei. Er sagt, daß kein Grund vorhanden ist, weshalb die Verhältnisse zwischen den Äquivalentgewichten der Elemente nur durch Bruchzahlen, und nicht mitunter auch durch ganze Zahlen ausgedrückt sein sollten und daß das Gesetz, welches diesen Zahlen zu Grunde liegt, uns ebenso unbekannt ist, wie die absoluten Gewichte der Atome selbst. Neuerdings ist Dumas wieder auf diese Frage zurückgekommen *****). Nach ihm sind fast sämmtliche Äquivalentgewichte der Elemente Multipla nach ganzen Zahlen von dem Äquivalentgewicht des Wasserstoffs. Er spricht sich hierbei auch über andere Regelmäßigkeiten, die man bei den Äquivalentgewichten beobachtet hat †), aus. So können nach ihm Elemente, die ähnliche Eigenschaften besitzen, Äquivalentgewichte haben, die in sehr einfachen Verhältnissen (1 : 1 oder 1 : 2) zu einander stehen. Aber es kann, und zwar bei ganz analogen Elementen, ebenso gut auch vorkommen, daß solche einfache Verhältnisse nicht existiren, obgleich die die wahren Äquivalentgewichte ausdrückenden Zahlen einem solchen Verhältniß sehr annähernd zu entsprechen scheinen. Ebenso kann bei drei Elementen, die derselben natürlichen Familie angehören, das Äquivalent des in der Mitte stehenden genau das arithmetische Mittel der Äquivalentgewichte der beiden anderen Elemente sein. Aber diese Beziehung kann ebenso gut auch fehlen und zwar bei den Elementen, welche die größte Analogie zeigen. Die vierte Frage lautet: zeigen die Äquivalentgewichte der Elemente etwas dem Entsprechendes, was unter den Äquivalentgewichten der Glieder von Reihen analoger organischer Radicale statt hat? Dumas Antwort hierauf lautet folgendermaßen: wenn die Äquivalentgewichte der zu einer und derselben natürlichen Familie gehörenden Elemente nach Art der organischen Radicale eine Reihe bilden,

*) Pogg. Ann. Bd. XIX. S. 318.

**) Ebenda Bd. XXVI. S. 318; Bd. LVII. S. 163.

***) Ebenda Bd. LVIII. S. 171.

****) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXV. S. 256.

*****) Compt. rend. T. XLV. p. 709. Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. CV. S. 74.

†) Döbereiner, Pogg. Ann. Bd. XV. S. 301. Gladstone, Phil. Mag. [4] Vol. V. p. 313. Fremy, Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 56. Lenissen, Ann. der Chem. u. Pharm. Bd. CIII. S. 121.

so ist die Differenz je zweier Glieder zwar häufig eine constante, wird jedoch manchmal für einzelne Glieder der Reihe eine andere, wodurch die Einfachheit des zu Grunde liegenden Gesetzes verdeckt wird.

Schon in den ältesten Zeiten bedienten sich die Chemiker einer Zeichensprache, aber in einem ganz anderen Sinne, wie dies heutiges Tages geschieht. So lange man sich bemühte, die chemischen Kenntnisse überhaupt geheim zu halten, suchte man in den Zeichen einen Bundesgenossen, um diesen Zweck fester zu erreichen. Die Zeichen waren daher höchst willkürlich gewählt und für den Uneingeweihten völlig unverständlich. Später benutzte man sie, um ungeordnete empirische Thatfachen ebenso verworren und empirisch darzustellen. Erst als man anfing eine genauere Einsicht in die chemischen Vorgänge zu erlangen, bemühte man sich, einfachere Zeichen aufzufinden, die geeignet waren, complicirte Verbindungen übersichtlich darzustellen. Die verschiedenen Phasen, welche die chemische Zeichenlehre durchlaufen hat, findet man in Kopp's Geschichte (Bd. II. S. 421) beschrieben. Die jetzt allgemein gebräuchlichen chemischen Zeichen oder Symbole rühren von Berzelius her. Es sind dies die Buchstaben, die man in vorstehender Tabelle neben den Elementen findet. Man erkennt beim Anblick derselben sehr leicht, daß das Äquivalent eines jeden einfachen Stoffes durch die Anfangsbuchstaben seines lateinischen Namens bezeichnet wird *). Nur wenn mehrere derselben gleichlautend sind, fügt man demselben noch irgend einen bezeichnenden Buchstaben aus dem Namen bei. Die Anfänge dieser einfachen und leichtverständlichen Zeichensprache finden wir bereits bei Richter, doch hatte dieser zur Bezeichnung der Elemente griechische Buchstaben gewählt. Aber schon er hatte diesen Zeichen einen bestimmten Werth, eben das Äquivalentgewicht beigelegt, und dadurch unterscheiden sich die neueren chemischen Zeichen hauptsächlich von den älteren. Diese bezeichneten eben weiter nichts als den Stoff, die heutigen legen außerdem denselben noch einen bestimmten Werth bei.

So bezeichnet z. B. O nicht allein Sauerstoff, sondern stets auch 100 oder 8 G.-Th. desselben, je nach der Grundlage, die man annimmt; ferner Fe stets 350,5 oder 28 G.-Th. Eisen u. s. w. Dadurch wird es leicht, indem man verschiedene Zeichen zusammenstellt, die sogenannten chemischen Formeln zu bilden, die nicht allein die Zusammensetzung der chemischen Verbindungen übersichtlich nach Äquivalenten erkennen lassen, sondern auch anschaulich machen, wie man sich darin die näheren oder entfernteren Bestandtheile mit einander verbunden denkt. Man gebraucht zwar auch diese Zeichen mitunter als Abkürzung in dem Sinne der Alten, d. h. eben nur in qualitativer Bedeutung als Bezeichnung für die Substanzen, doch ist dies, da Zeichen und Werth unzertrennlich sind, streng genommen, ein Mißbrauch, der leicht zu Mißverständnissen Veranlassung geben kann.

Das bloße Zeichen für sich bedeutet stets 1 Äquivalent; sind mehrere Äquivalente eines Elementes in einer chemischen Verbindung enthalten, so setzt man die Zahl derselben rechts oben oder unten neben das Element; so bedeutet z. B.

*) Berzelius wählte darum die lateinische Sprache, weil sie den Naturforschern aller Länder an gehört. Diese Bezeichnung hat auch aller Orten Eingang und Anklang gefunden, nur ein französischer Chemiker Deudant hatte die Eitelkeit, in seinem Essai d'un Cours élémentaire et général des sciences physiques zu diesen Zeichen die Anfangsbuchstaben der französischen Namen zu wählen.

SO_2 oder SO^3 , daß hier 1 Aeq. Schwefel mit 3 Aeq. Sauerstoff oder 16 G.-Th. Schwefel mit $3 \times 8 = 24$ G.-Th. Sauerstoff verbunden sind *). Diese Zahl bezieht sich stets nur auf das Zeichen, dem es unmittelbar angehängt ist, alle übrigen werden davon nicht berührt. Steht indessen die Zahl links vor dem Zeichen, so werden alle Zeichen bis zu einem nachfolgenden Komma, Punkt oder Pluszeichen dadurch multiplicirt und ebenso werden die in Klammern eingeschlossenen Zeichen und Formeln sämtlich durch die davor gestellten oder rechts angehängten Zahlen multiplicirt. $\text{KO}, 2 \text{SO}^3 + \text{HO}$ ist die Formel für das saure schwefelsaure Kali; hier bezieht sich die Zahl 2 vor SO^3 nicht allein auf S, sondern auch auf O. Sie sagt uns, daß hier 2 Aeq. Schwefel mit 6 Aeq. Sauerstoff verbunden, also 2 Aeq. Schwefelsäure in diesem Salz enthalten sind. Ebenso bezieht sich die Zahl 7 vor HO in der Formel der krystallisirten schwefelsauren Magnesia $\text{MgO}, \text{SO}^3 + 7 \text{HO}$ nicht bloß auf den Wasserstoff, sondern auf das Wasser. Dem Malachit (dem basisch-kohlensauren Kupferoxyd) geben wir die Formel $2 \text{CuO}, \text{CO}^2 + \text{HO}$ und hier ist nur das Kupferoxyd, nicht aber die Kohlensäure und das Wasser mit 2 zu multipliciren. In der Formel des Grünbleierzses $3 (3 \text{PbO}, \text{PO}^3) + \text{Pb Cl}$ dagegen erstreckt sich die Zahl 3 auf den Gehalt der Klammer; hier sind also 1 Aeq. Chlorblei verbunden mit 3 Aeq. phosphorsaurem Bleioxyd oder mit 9 Aeq. Bleioxyd und 3 Aeq. Phosphorsäure.

Besteht die Verbindung nur aus zwei Elementen, so setzt man die Zeichen derselben unmittelbar neben einander und zwar das des electropositiven Elementes zuerst. In mehr zusammengesetzten Verbindungen, den Salzen z. B. trennt man die näheren Bestandtheile, also die Säuren von den Basen durch ein Komma, Punkt oder Pluszeichen. So bezeichnen z. B. NaO, NO^5

NaO, NO^5 oder

$\text{NaO} + \text{NO}^5$ gleichbedeutend salpeter-

saures Natron. Häufiger wendet man indessen hier nur das Komma oder den Punkt an, das Pluszeichen dagegen öfter bei mehr zusammengesetzten Verbindungen, z. B. den Doppelsalzen oder Salzen mit Hydratwasser, um die Formeln der näheren Bestandtheile mit einander zu verbinden, wie dies die Formel für den Alaun deutlich macht: $\text{Al}^2 \text{O}^3, 3 \text{SO}^3 + \text{KO}, \text{SO}^3 + 24 \text{aq.}$ Diese schreibt man indessen auch auf folgende Weise: $(\text{Al}^2 \text{O}^3 + 3 \text{SO}^3) + (\text{KO} + \text{SO}^3) + 24 \text{aq.}$ Will man durch die Formel anzeigen, ob die Verbindung das Wasser als basisches und Hydratwasser oder nur als Krystallwasser enthält, so bezeichnet man das letztere durch aq. und die beiden ersteren dagegen durch die chemische Formel des Wassers. So sagt uns die Formel $\text{HO}, \text{SO}^3 + \text{aq.}$, daß diese Schwefelsäure ein Aequivalent Krystallwasser, das beim Erhitzen fortgeht, enthält und 1 Aeq. Hydratwasser, das eben nur durch Basen erzieht werden kann. $\text{KO}, \text{HO} + 4 \text{aq.}$ ist die Formel für das krystallisirte Kalihydrat. Hier sind mit 1 Aeq. Kali 5 Aeq. Wasser verbunden, von denen, wie die Formel lehrt, 4 Aeq. beim Erhitzen fortgehen, während das fünfte Aequivalent nur durch Säuren abgetrennt werden kann.

Berzelius hat noch einige Vereinfachungen in der Schreibweise vorge-

*) Der letzteren Schreibweise hat man den Vorwurf der Aehnlichkeit mit einem algebraischen Exponenten gemacht. Durch die erstere Schreibweise wird der Anstoß der Mathematiker gehoben.

schlagen, die aber neuerdings immer mehr außer Gebrauch kommen. So ersetzt er z. B. die Zahl der Sauerstoffäquivalente durch Punkte über dem positiven Element: \bar{S} bedeutet z. B. hiernach Schwefelsäure = SO_2 oder \bar{N} Salpetersäure = NO_3 . Ebenso bezeichnet er Schwefel, Selen und Tellur, sobald sie als negative Elemente auftreten, das erstere durch einen verticalen, das zweite durch einen horizontalen Strich und das letzte durch ein Kreuz. So ist z. B. \bar{K} gleichbedeutend mit KS , \bar{K} mit KSe und \bar{K} mit KTe . Diese Bezeichnungsweise läßt sich jedoch nicht durchweg bei allen Formeln in Anwendung bringen, da sich die Zahl, die man dem positiven Element anhängt, dann nicht allein auf dieses Element, sondern die Gesamtverbindung bezieht. So bezeichnet z. B. \bar{S}_2 nicht, daß hier 2 Aeq. Schwefel mit 3 Aeq. Sauerstoff verbunden sind, sondern hierunter sind 2 Aeq. Schwefelsäure verstanden. Die Formeln der verschiedenen Schwefelsäuren würde man auf diese Weise gar nicht alle ausdrücken können. Bei der dithionigen Säure und Dithionsäure (der unterschwefligen Säure und Unterschwefelsäure), die auf 2 Aeq. Schwefel 2 und 5 Aeq. Sauerstoff enthalten, würde man sich dadurch helfen können, daß man das Symbol des Schwefels, wie dies ja bei anderen Elementen gebräuchlich ist, durchstriche; aber für diejenigen Schwefelsäuren, die mehr als 2 Aeq. Schwefel enthalten, fehlt die Bezeichnung ganz. Namentlich aber müssen wir bei den organischen Stoffen auf diese Bezeichnungsweise verzichten, da wir hier in vielen Fällen nicht mit Bestimmtheit wissen, ob der Sauerstoff als negatives Element in der Verbindung enthalten ist und dem Radical angehört.

Die Zeichen für Wasserstoff, Stickstoff und die der Haloide werden von den Chemikern verschieden geschrieben und dadurch entsteht große Unsicherheit. Einige legen den Zeichen H, N, Cl u. nur den halben Werth von dem in der Tabelle angegebenen, andere dagegen den ganzen Werth bei. Noch andere wenden die durchstrichenen Symbole an, wodurch jeder Unsicherheit vorgebeugt wird.

Ähnlich wie die Elemente hat man auch eine große Zahl von organischen Verbindungen mit einfachen Zeichen, den Anfangsbuchstaben ihrer Namen, belegt, wodurch die Schreibweise allerdings sehr vereinfacht wird. So bedeutet z. B. Cy Cyan (C^2N), Ae Äthyl (C^4H^3) u. Die Säuren deutet man durch einen horizontalen Strich an und die Basen durch ein Kreuz. So bedeutet z. B. \bar{A} Essigsäure ($C^4H^3O^3$), \bar{T} Weinsäure ($C^4H^2O^5$), \bar{M} Äpfelsäure ($C^4H^2O^4$) u.; dagegen \bar{Ch} Chinin ($C^{20}H^{12}NO^2$), \bar{Mo} Morphin ($C^{15}H^{20}NO^6$) u. Die Formeln der zusammengesetzten organischen Verbindungen schreibt man gerade so, wie die der unorganischen. Die Formel für Cyanblei ist $Pb\bar{Cy}$ (PbC^2N), für eisigsäures Silberoxyd AgO , \bar{A} ($AgO, C^4H^3O^3$), für weinsäurehaltiges Kali KO, \bar{T} ($KO, C^4H^2O^5$), für äpfelsäurehaltigen Kalk CaO, \bar{M} ($CaO, C^4H^2O^4$) u.

Die chemische Analyse lehrt allerdings mit großer Sicherheit, welche Elemente und welche Mengen derselben in einer chemischen Verbindung enthalten sind, aber sie giebt uns keinen Aufschluß darüber, wie die verschiedenen Elemente hier mit einander verbunden sind; oder mit anderen Worten, die chemische Analyse lehrt zwar die entfernteren Bestandtheile erkennen, aber nicht die näheren. Letztere kann man nur durch das Verhalten der chemischen Verbindungen zu anderen Sub-

stanzen kennen lernen. Man unterscheidet demnach empirische und rationelle Formeln. Die ersteren geben nur an, in welchem Äquivalentverhältniß die Elemente in einer Verbindung enthalten sind oder wie viel Äquivalente eines Elementes in einem Äquivalent einer Verbindung gefunden worden sind. Die rationellen Formeln dagegen geben gleichzeitig ein Bild davon, in welcher Weise die einzelnen Elemente in der Verbindung zu näheren Bestandtheilen groupirt sind. Bei der Analyse des neutralen schwefelsauren Natrons finden wir als letzte Bestandtheile Natrium, Schwefel von jedem 1 Äq. und 4 Äq. Sauerstoff; stellen wir diese unmittelbar neben einander, so haben wir die empirische Formel Na SO_4 . Die rationelle Formel dagegen lautet NaO, SO_3 und diese lehrt uns, daß das eine Äquivalent Sauerstoff mit Natrium zu Natron vereinigt ist, während die anderen drei mit einem Äquivalent Schwefel Schwefelsäure bilden. Die empirische Formel für das schwefelsaure Ammoniak $\text{N II}^3 \text{SO}_4$. Die rationelle Formel wird indessen schon verschieden gedeutet. Einige schreiben sie $\text{N II}^3, \text{HO, SO}_3$, wonach in dieser Verbindung wasserfreie Schwefelsäure, Ammoniak und Wasser enthalten wären; andere indessen schreiben diese Formel $\text{N II}^3 \text{O, SO}_3$, wonach die wasserfreie Schwefelsäure hier mit einem Orpde der Gruppe N II^3 verbunden wäre. Nach der ersten Formel wäre in diesem Salze Wasser fertig gebildet enthalten, nach der letzteren nicht. Man sieht also, daß die chemischen Verbindungen verschieden gedeutet werden können, da wir eben die näheren Bestandtheile der Verbindungen nicht mit Sicherheit feststellen können. Demnach stehen die rationellen Formeln nicht fest, sondern sie verändern sich mit den theoretischen Ansichten, die eben nur zeitweise in der Wissenschaft herrschen und bei vermehrter Einsicht gegen andere vertauscht werden.

Anhaltspunkte für die Bestimmung der rationellen Constitution einer Verbindung liefern ihre Entstehungsweise, ihre Zersetzung und die Aehnlichkeit im chemischen Verhalten mit anderen Verbindungen, deren rationelle Constitution bereits mit hinreichender Sicherheit erforscht worden ist. Aber sie reichen sehr oft nicht aus, um diese Frage mit Sicherheit zu entscheiden. Daber trücken die rationellen Formeln nie etwas Bestimmtes aus, das mit Sicherheit zu beweisen wäre, sondern stets nur Hypothetisches. Aus diesem Grunde herrschen auch über die rationelle Constitution der chemischen Verbindungen sehr verschiedene Ansichten, die sich oft geradezu widersprechen, aber dennoch jede für sich Gründe anzuführen wissen. Das kann nicht auffallen, wenn wir uns das Wesen der rationellen Formeln klar machen. Sie sollen das chemische Verhalten der Verbindungen möglichst einfach repräsentiren, die Aehnlichkeit mit anderen Verbindungen erkennen und die Bildungs- und Zersetzungserscheinungen ungezwungen erklären lassen. Als Anhaltspunkte dienen hier hauptsächlich, 1) daß die Ansichten über die rationelle Constitution das chemische Verhalten der Verbindungen repräsentiren und daß namentlich ähnlichen chemischen Verbindungen auch eine ähnliche chemische Constitution beizulegen sei, 2) daß die Annahme hypothetischer näherer Bestandtheile weniger Wahrscheinlichkeit für sich habe, als die von darstellbaren und 3) daß in einer Verbindung solche nähere Bestandtheile mit größerer Wahrscheinlichkeit anzunehmen seien, welche nicht nur als Zersetzungsproducte auftreten, sondern aus welchen die ursprüngliche Verbindung auch wieder zusammengesetzt werden kann. Daß hierüber viel gestritten werden kann, liegt auf der Hand; denn der Eine hält diesen Anhaltspunkt für den wichtigsten, der andere jenen. So

haben denn die Ansichten über die rationelle Constitution der chemischen Verbindungen nicht allein häufig gewechselt, sondern es bestehen gleichzeitig auch verschiedene Ansichten neben einander, indem ein Chemiker dieser, ein anderer jener anhängt oder ihr den Vorzug giebt. Wer sich über diese verschiedenen Ansichten näher unterrichten will, findet solche in den Lehrbüchern der speciellen Chemie ausführlich besprochen. Wir erinnern hier nur an die älteren Ansichten über Säuren und Salze, die durch die Entdeckung des Sauerstoffs, der sogenannten Salzbildenden Elemente wesentliche Veränderungen erfuhren, z. B. durch die Wasserstoffsäurentheorie oder die Binarttheorie der Säuren und Salze, die Lehre von den mehrbasischen Säuren. Aber namentlich machten sich die verschiedensten Ansichten geltend, als man die Betrachtungsweisen der rationellen Zusammensetzung der chemischen Verbindungen in die organische Chemie übertrug. Als die hauptsächlichsten Ansichten sind hier zu nennen: die Radicaltheorie, der die Betrachtungsweise zu Grunde liegt, daß sich ein zerlegbarer Körper, eine Atomgruppe, in chemischer Beziehung ganz ähnlich verhalten kann, wie ein unzerlegbarer Körper, ein Element; die Substitutions- und ältere Typentheorie, die aufkam, als man fand, daß der Wasserstoff in organischen Verbindungen durch Chlor und auch durch zusammengesetzte Körper vertreten werden könne, ohne daß der chemische Charakter der bisherigen Verbindung eine Aenderung erlitt, — eine Thatsache, die nach der Radicaltheorie unmöglich erschien; die Kerntheorie, in der als Mittelpunkt für die Classification der organischen Verbindungen möglichst einfache, aber darstellbare Verbindungen, Kohlenwasserstoffe, hingestellt wurden, welche gleichsam die Kerne abgeben sollten für die Anlagerung der mehr zusammengesetzten Verbindungen; die Classification nach Reihen, deren Grundlage ein gesetzmäßiges Wachsen des Kohlen- und Wasserstoffgehaltes bildete; die neuere Typentheorie, welche die Vortheile der Radicaltheorie mit denen der Typentheorie zu verbinden und gleichzeitig auch mit der Classification nach Typen auch die nach Reihen analoger Körper zu ermöglichen sucht.

Neben den Berzelius'schen Symbolen und Formeln suchten sich neuerdings die von Gerhardt und Laurent geltend zu machen. Die Zeichen für die Metalloide haben in dem System der Letzteren denselben Werth, wie bei Berzelius; für die Metalle, mit Ausnahme von Arsen, Antimon, Wismuth, Uran, haben die Zeichen dagegen den halben Werth von denen nach Berzelius. So schreiben Gerhardt und Laurent Wasser, schweflige Säure, Schwefelsäure,



Phosphorsäure, Kohlenoxyd, Kohlensäure. Es haben ferner $H\ Cl$, $H\ Br$, $N\ H^3$
 P^3O^5 CO CO^2

keinen anderen Werth, als nach der Berzelius'schen Bezeichnung, während in Metallverbindungen das Symbol des Metalls von Berzelius halbt wird.

Beispiele:

	Formel nach Berzelius	Formel nach Gerhardt u. Laurent
Schwefelwasserstoff	H^2S	$S\ (H^2)$
Schwefelkalium	KS	$S\ (K^2)$
Chlornasserstoff	H^2Cl^2	$Cl\ (H)$
Chlorkalium	$K\ Cl^2$	$Cl\ (K)$

	Formel nach Berzelius	Formel nach Gerhardt u. Laurent
Schwefelsäure	$\text{SO}_3, \text{H}^2\text{O}$	$\text{SO}_4 (\text{H}^2)$
Schwefelsaures Kali	SO_3, KO	$\text{SO}_4 (\text{K}^2)$
Salpetersäure	$\text{N}^2 \text{O}_5, \text{H}^2\text{O}$	$\text{NO}_3 (\text{H})$
Salpetersaures Kali	$\text{N}^2 \text{O}_5, \text{KO}$	$\text{NO}_3 (\text{K})$

Die Hauptverschiedenheit des Systems von Gerhardt und Laurent liegt in der Bezeichnung der Salze, indem dieselben als in einer Elementengruppe bestehend angesehen werden, worin das Metall durch ein anderes ersetzbar erscheint, ohne daß die Molecularanordnung des Ganzen dadurch verändert wird. Das Metall wird daher gewöhnlich in eine Parentthese gesetzt. Demnach sind die Säuren, d. h. die wasserhaltigen Sauerstoffsäuren und die Wasserstoffsäuren Salze, in welchen das Metall durch Wasserstoff vertreten ist. Dryde, Sulfure sind Salze in derselben Bedeutung wie Sulfate, Nitrate etc. Dagegen bilden die wasserfreien Säuren eine besondere Klasse von Körpern, welche erst, nachdem sie Wasser gebunden haben, in Säuren übergehen, und den Namen Anhydride führen.

Gerhardt und Laurent lassen ferner ohne Weiteres zwei oder mehrere Äquivalente für einen und denselben Körper zu, da ein Element oft die Rolle von zwei oder mehreren anderen, sehr verschiedenen Elementen spielen kann, weshalb es auch vorkommen kann, daß jeder dieser verschiedenen Functionen auch verschiedene Gewichtsmengen entsprechen. Andererseits steht man oft verschiedene Gewichtsmengen von einem und demselben Metalle, wie z. B. Kupfer, Eisen, Quecksilber, dieselbe Gewichtsmenge Wasserstoff in Säuren erziehen, um Salze von einem und demselben Metalle zu bilden, die sich demnach durch verschiedene Eigenschaften von einander unterscheiden. Daher muß dasselbe Metall verschiedene Äquivalente haben können. Dies findet namentlich bei Eisen, Aluminium, Quecksilber, Kupfer, Chrom, Zinn, Platin, Mangan statt; die verschiedenen Äquivalentgewichte werden von dem ursprünglichen durch Multipliciren mit $2 = \alpha$, $\frac{1}{2} = \beta$, $\frac{1}{3} = \gamma$, $\frac{1}{4} = \delta$ abgeleitet. Durch die vom Berzelius'schen System abweichende Bezeichnung sind diese Äquivalente leicht zu erkennen. So bezeichnen sie z. B. das Kupfer und das Quecksilber in den Drydsalzen mit $\text{Cu}\alpha$ und $\text{Hg}\alpha$; das Eisen, Aluminium, Chrom und Mangan in den Drydsalzen mit $\text{Fe}\beta$, $\text{Al}\beta$, $\text{Cr}\beta$ und $\text{Mn}\beta$; das Zinn und Platin in den Drydsalzen mit $\text{Sn}\gamma$ und $\text{Pt}\gamma$ und das Wismuth, Antimon und Gold in den Drydsalzen mit $\text{Bi}\delta$, $\text{Sb}\delta$ und $\text{Au}\delta$.

Der Vorzug dieser Bezeichnungsweise besteht hauptsächlich darin, daß man vermittelt derselben alle Salze derselben Gattung auf die nämliche Weise ausdrücken kann. Jedes Symbol kommt in einer Formel nur einmal vor. Gerhardt und Laurent bezeichnen deshalb ähnliche Verbindungen auf ähnliche Weise. — Wir wollen hierbei jedoch bemerken, daß eben die bisherigen Ansichten und Formeln, die jetzt von Gerhardt und Laurent angefeindet werden, dazu gedient haben, die Gesetzmäßigkeiten aufzufinden, welche der neueren Ansicht zur Stütze dienen. Die jetzt von beiden bestrittene Ansicht, das Äquivalent eines Elementes sei in allen seinen Verbindungen dasselbe, ist ja der Ausdruck einer Gesetzmäßigkeit, die bis jetzt noch nicht schwankend gemacht worden ist, — des

Weswegen der multiplen Proportionen, welches die neuere Auffassung keinesweges involvirt.

Bei der Bezeichnungswaise organischer Substanzen ziehen Gerhard und Laurent die Volumina in Betracht, wenn es sich um Körper handelt, die sich unzerlegt verflüchtigen lassen. Sie bezeichnen diese letzteren durch dieselbe Anzahl von Volumen und die bestimmten, davon abgeleiteten Verbindungen durch ähnliche Formeln. So z. B. bezeichnen sie die einbasischen Säuren durch die Menge, welche ein Äquivalent basischen H enthält, sie entspricht zwei Volumen Dampf. Diejenigen Derivate, welche sich nicht als Salze verhalten, werden durch die nämliche Anzahl von Volumen ausgedrückt. Sind diese Derivate nicht flüchtig, so nehmen sie als Äquivalent diejenige Menge an, die durch ein Äquivalent der einbasischen Säure geliefert wird, oder welche ein Äq. dieser Säure giebt.

Bei den zweibasischen Säuren, die ohne Zerlegung nicht flüchtig sind, aber bei ihrer Zerlegung flüchtige Anhydride geben, nehmen sie zu der Formel diejenige Menge, welche zwei Volumen Anhydrid geben. Demzufolge werden die zweibasischen Säuren mit basischem H² bezeichnet und der Analogie wegen die Mineralsäuren mit H, H², H³, je nachdem sie ein-, zwei- oder dreibasisch sind. Die meisten Chemiker bezeichnen die organischen Substanzen mit Formeln, die doppelt so groß sind als die von Gerhard und Laurent, aber alle diese Formeln lassen sich, wenn sie richtig sind, halbiren und nach der letzteren Methode bezeichnen. Näheres hierüber findet man im Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLVI. S. 353 und Gerhard, Lehrbuch der organischen Chemie Bd. IV. S. 598.

Die Hauptvorteile der chemischen Zeichensprache bestehen darin, daß sie uns in wenigen Buchstaben und Zahlen eine übersichtliche Anschauung giebt von der qualitativen und quantitativen Zusammensetzung der chemischen Verbindungen; sie lehrt uns ferner durch wenige Symbole und allein durch die mannigfache Art und Weise der Gruppierung derselben mit großer Schärfe und Präcision die verschiedenen Ansichten über die Zusammensetzung eines Körpers und damit zugleich eine Summe von Gedanken auszudrücken, welche auf keine andere Weise in solcher Kürze wiedergegeben werden können. Das letztere macht sich namentlich bemerkbar bei Erklärung der Vorgänge bei chemischen Processen. Hier giebt uns eine einfache Gleichung der Formeln eine so klare Einsicht, wie sie kaum durch eine lange Beschreibung erzielt werden kann. Alle diese Vorteile machen den häufigen Gebrauch der chemischen Formeln in den chemischen Lehrbüchern der neueren Zeit, namentlich bei Erklärung der chemischen Prozesse, erklärlich und es ist daher einem Jeden, der sich mit Chemie beschäftigt will, dringend anzurathen, sich recht vertraut mit der chemischen Zeichensprache zu machen. Die Entzifferung und das Verständnis dieser anreichen Zeichensprache ist viel leichter, als man gemeinlich auf den ersten Anblick eines mit chemischen Formeln überladenen Buches glaubt.

Seitdem die chemische Zusammensetzung der Mineralien bei dem Studium derselben eine so hervorragende Rolle spielt, gilt das Gleiche auch von den chemischen Formeln. Da auch die mineralogisch-chemischen Formeln vor allen Dingen ein getreues Bild des chemischen Baues der Mineralien geben sollen, so gelten auch hier dieselben Forderungen wie bei den chemischen Formeln selbst und diese lauten: möglichst getreue Darstellung der chemischen Zusammensetzung, verbunden mit

Kürze und Uebersichtlichkeit. Auch die mineralogischen Formeln sind von Berzelius eingeführt worden. — Hier ist Laurent gleichfalls als Reformator aufgetreten *). Er findet die gewöhnlichen Formeln der natürlichen Silicate complicirt und phantastisch; $\frac{9}{10}$ derselben sollen weder deren Zusammensetzung noch Constitution bezeichnen. Als Beweise führt er gerade die am besten krystallisirten und untersuchten Mineralien an, wobei er die seltsamsten und paradoxesten Ansichten auf willkürliche Annahmen gründet, indem er einzelne Thatfachen unrichtig und einseitig auffaßt und interpretirt. Um die vermeintlichen zahlreichen Widersprüche zu versöhnen und die Classification zu erleichtern, schlägt er neue, einfachere Formeln vor, welche sich auf die Annahme gründen, daß die Kieselsäure = SiO und mehrbasisch sei und daß alle Metalloryde, welche Salze bilden können, aus gleich viel Aequivalenten Metall und Sauerstoff zusammengesetzt und wenigstens zum Theil unter einander isomorph seien. Laurent's Theorie ist übrigens von Kammelsberg **) einer ausführlichen Beurtheilung unterworfen, und diese hat wiederum das Mißfallen von Gerhard t erregt ***).

Die Frage, wie man aus der procentischen Zusammensetzung, also nach den Ergebnissen der Analyse, zur Aufstellung einer Formel gelangt, führt uns zur Stöchiometrie zurück. Doch bevor wir diese Frage beantworten, oder überhaupt eine Anwendung von der Stöchiometrie bei chemischen Berechnungen machen, haben wir erst einige wenige, einfache Gesetze ins Auge zu fassen, nach welchen die chemischen Verbindungen überhaupt vor sich gehen. Diese Gesetze hat die Erfahrung hinlänglich bestätigt. Dieselben sind:

1) Das Gesetz der Erhaltung der Quantität der Materie. Hiernach ist das Gewicht eines zusammengesetzten Körpers stets gleich der Summe der Gewichte seiner Bestandtheile, d. h. bei einer chemischen Verbindung oder Trennung erleidet das Gewicht der Körper keine Aenderung. Wir müssen hierbei aber in Betracht ziehen, daß stets beim Wägen einige kleine Fehler vorkommen, — ein Mangel, der allem menschlichen Thun anhebt. Die Richtigkeit dieses Gesetzes ist besonders durch die Bestimmung der Aequivalentgewichte von Berzelius, Erdmann, Marchand, Dumas, Staß, Péligot, E vanberg u. m. A. auf das Vollständigste bestätigt. Das Aequivalentgewicht einer chemischen Verbindung ist nach diesem Gesetze also gleich der Summe der Aequivalentgewichte seiner Bestandtheile.

2) Das Gesetz der bestimmten Verhältnisse. Einfache Stoffe verbinden sich mit einander nur in einem oder in einigen wenigen bestimmten Verhältnissen, auf welche eine Veränderung der Temperatur oder des äußeren Druckes keinen Einfluß ausübt. Ein Aequivalent eines Elementes verbindet sich mit einem, zwei, drei oder mehreren Aequivalenten eines anderen Elementes. Zwei Aequivalente eines Elementes können sich mit drei, fünf oder sieben Aequivalenten eines anderen Elementes verbinden. Dieses Gesetz ist für die Darstellung chemischer Präparate von der größten Wichtigkeit, denn nimmt man von dem einen oder anderen Körper mehr oder

*) Compt. rend. T. XXIII. p. 1050; T. XXIV. p. 94.

**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XL. S. 374.

***) Journ. de Pharm. [3] T. XIII. p. 70.

weniger, als diesen bestimmten Verhältnissen entspricht, so geht dieses Mehr nicht in die Verbindung ein und ebenso wenig das Mehr der anderen Elemente, welches dem zu wenig des einen entspricht. Man erlangt auf diese Weise nur unreine Verbindungen. Allerdings kann es hierbei häufig vorkommen, namentlich bei flüssigen Verbindungen, daß das Ganze gleichförmig erscheint, aber eine genauere chemische Untersuchung wird sofort die Ungehörigkeit ans Licht treten lassen. So verbindet sich z. B. das Schwefeleisen, welches aus 16 G.-Th. Schwefel und 27,2 G.-Th. Eisen besteht, mit beliebigen Mengen Eisen durch Zusammenschmelzen, ohne daß man den geringeren Schwefelgehalt durch das Ansehen erkennt. Dasselbe gilt von den meisten Legirungen und Amalgamen. Alle diese Verbindungen bilden insofern keine Ausnahme von diesem Gesetz, als hier ein Theil der Bestandtheile außerhalb der chemischen Verbindung steht.

Die Frage, ob zwei Äquivalente eines Elementes mit zwei, vier, oder sechs Äquivalenten eines anderen Elementes eine Verbindung eingehen können oder ob solche Verbindungen aus einem Äq. mit einem, zwei oder drei Äq. bestehen, ist noch nicht mit hinreichender Sicherheit erforscht worden.

3) Das Gesetz der multiplen Proportionen oder der Vielfachen *). Wenn zwei Körper sich in mehrfachen Verhältnissen mit einander verbinden, so lassen sich diese immer in Zahlen ausdrücken, die man aus denen der niedrigsten Verbindungsstufen erhält, wenn man entweder die Menge eines oder auch beider Bestandtheile nach Zahlen vervielfacht, die in den ersten Gliedern der Reihe der natürlichen Zahlen liegen.

So finden wir z. B. in der niedrigsten Verbindungsstufe des Stickstoffs mit Sauerstoff, dem Stickstoffoxydul, stets 14 G.-Th. Stickstoff mit 8 G.-Th. Sauerstoff verbunden; mit weniger als diesem Gewicht Sauerstoff vermögen wir überhaupt nicht den Stickstoff zu verbinden, wohl aber mit dem doppelten Gewicht zu Stickstoffoxyd. Vermehrt man die Menge des Sauerstoffs noch weiter, so erhält man nicht eher wieder eine bestimmt zu unterscheidende Verbindung, als bis der Stickstoff 24 G.-Th. Sauerstoff, also gerade das Dreifache vorfindet. Dasselbe geschieht auch bei weiterer Vermehrung des Sauerstoffs, bis endlich 32 und 40 G.-Th. davon, also die vier- und fünffache Menge vorhanden ist. Ähnlich ist es beim Mangan, von dem gleichfalls fünf Sauerstoffverbindungen bekannt sind, und zwar

27,6 G.-Th. Mangan mit	8 G.-Th. Sauerstoff	(Manganoxydul)
27,6 " " " "	12 " " "	(Manganoxyd)
27,6 " " " "	16 " " "	(Manganhyperoxyd)
27,6 " " " "	24 " " "	(Manganäure) und
27,6 " " " "	28 " " "	(Uebermanganäure).

Die Reihen dieser Verbindungen entsprechen nicht immer der Reihe der natürlichen Zahlen; oft fehlen einzelne Glieder und dann findet man auch nicht bei allen Elementen eine gleiche Anzahl von solchen Verbindungsstufen.

Aus diesen einfachen Gesetzen wird es klar werden, welche wichtige Rolle die

*) Wra me, eigenthümliche Ansichten über die eigentlichen Bedeutungen des Gesetzes der multiplen Proportionen. L'inst. 1853. p. 236. — Jacquelin, ibid, 1852. p. 378.

Stöchiometrie auch im gewöhnlichen praktischen Leben spielt. Bei allen chemischen Prozessen, die die Grundlage so vieler Gewerbe bilden, giebt sie mit Leichtigkeit auf eine Reihe von Fragen Antwort, die der reine Praktiker nur durch langes Umhertasten auf Kosten seines Geldbeutels oder auch gar nicht lösen kann. Einzelne Beispiele werden uns dies klar machen. Wie wollte z. B. der Schwefelsäurefabrikant erforschen, wie viel Schwefelsäure von 1,85 spec. Gewicht ihm ein Centner Schwefel liefern muß? Mit Hülfe der Lehre von den chemischen Aequivalenten ist diese Frage sehr leicht zu lösen. Die Formel der concentrirten Schwefelsäure ist $= \text{SO}_3 + \text{HO}$ und hiermit erkennen wir die Zusammensetzung derselben:

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ Aeq. Schwefel} & = & 16 \text{ G.-Th.} \\ 3 \text{ " Sauerstoff} & = & 24 \text{ " " } \\ 1 \text{ " Wasser} & = & 9 \text{ " " und folglich} \end{array}$$

$$\text{daß Aeq. der Schwefelsäure} = 49 \text{ G.-Th.}$$

Zur Lösung unserer Aufgabe bedürfen wir nur folgender leichter Rechnung. Wenn in 49 G.-Th. Schwefelsäure 16 G.-Th. Schwefel enthalten sind, wie viel beträgt die Menge der Schwefelsäure, in welcher 100 Pfund Schwefel enthalten sind.

$$\text{Folglich } \frac{100}{16} \times 49 = 306 \text{ Pfd.}$$

Gerade bei dieser Fabrikation erkennt man so recht den Werth dieser Rechnungen. Da man in früherer Zeit nie diesen Ertrag auch nur annähernd erreichte, wurde man angespornt, den Verlusten nachzuforschen und auf Verbesserungen in der Fabrikation zu sinnen. Und diese Bestrebungen sind mit Erfolg gekrönt worden, denn sicher in keinem großen Fabrikationsbetriebe irgend einer anderen Art kommt die Praxis der Theorie so nahe, wie gerade hier. Man gewinnt aus 100 Pfd. Schwefel statt 306 Pfd. Schwefelsäure von der angegebenen Stärke durchschnittlich allerdings nur 288 Pfd., so daß also immer noch 18 Pfd. Schwefelsäure eingebüßt werden. Aber dieser Verlust ist nicht so bedeutend, wie es scheint; er entspricht nur 6 Pfd. Schwefel, die sich bedeutend verringern, wenn man in Anschlag bringt, daß der Schwefel stets einige Procent Unreinigkeiten enthält, die natürlich keine Schwefelsäure liefern können. In einigen Fabriken erlangt man sogar 298 Pfd. Schwefelsäure, so daß nur $2\frac{2}{3}$ Pfd. Schwefel verloren gehen, während man früher durchschnittlich nur 140 bis 186 Pfd. Schwefelsäure aus dem Centner Schwefel erzielte, also mit einem Schwefelverlust von 39 bis 54 Proc. arbeitete.

Sehen wir uns in der Sodafabrikation um, die zumeist neben der Schwefelsäurefabrikation betrieben wird, so finden wir gerade das Gegentheil. Fragen wir z. B., wie viel Soda und Salzsäure von 1,166 spec. Gew. aus einem Centner Kochsalz gewonnen wird und wie viel Schwefelsäure zur Zersetzung des letzteren erforderlich ist. Die Formel des Kochsalzes ist $= \text{Na Cl}$, folglich die Zusammensetzung:

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ Aeq. Natrium} & = & 23 \text{ G.-Th. und} \\ 1 \text{ " Chlor} & = & 35,5 \text{ G.-Th., mithin} \\ \hline \text{ein Aeq. Kochsalz} & = & 58,5 \text{ G.-Th.} \end{array}$$

Die Formel für die Salzsäure ist gleich H Cl , folglich die Zusammensetzung:

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ Aeq. Chlor} & = & 35,5 \text{ G.-Th. und} \\ 1 \text{ " Wasserstoff} & = & 1,0 \text{ " " , mithin} \end{array}$$

ein Aeq. Salzsäure = 36,5 G.-Th. Die Salzsäure von dem angegebenen spec. Gew. enthält 33,34 Proc. wasserfreie Säure.

Ferner bedürfen wir noch der Formel des calcinirten kohlensauren Natrons = NaO CO_2 . Hier ist also die Zusammensetzung:

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ Aeq. Natrium} & = & 23 \text{ G.-Th.} \\ 1 \text{ " Kohlenstoff} & = & 6 \text{ " " und} \\ 3 \text{ " Sauerstoff} & = & 24 \text{ " " , mithin} \end{array}$$

$$1 \text{ Aeq. calcinirte Soda} = 53 \text{ G.-Th.}$$

Da wir die Formel und Zusammensetzung der Schwefelsäure bereits kennen, so haben wir alle Elemente zu unserer Berechnung und diese lehrt uns, daß 100 Pfd. Kochsalz zu ihrer Zersetzung $83\frac{3}{4}$ Pfd. Schwefelsäurehydrat erfordern und dann 87 Pfd. Salzsäure von der angegebenen Stärke und $90\frac{1}{2}$ Pfd. calcinirte Soda liefern. Von der letzteren aber gewinnt man höchstens nur 66 Pfd. oder $73\frac{1}{3}$ Proc. Dazu kommt ferner, daß bei der Ueberführung des schwefelsauren Natrons in Soda an Koble und Kalk mehr als das Doppelte erforderlich ist von dem, was die stöchiometrische Berechnung verlangt. Aus diesen Thatfachen dürfen wir aber keinesweges schließen, daß die Schuld an der Theorie liegt, sondern diese Unvollkommenheit fällt allein auf die Praxis.

Will man z. B. essigsaures Natron darstellen, so handelt es sich darum, wie viel schwefelsaures Natron und essigsaures Bleioryd man zu nehmen hat, wenn man z. B. 50 Pfd. von jenem Salze darstellen will. Man hat also zunächst die Aequivalente der drei verschiedenen Salze zu berechnen und da dieselben sämmtlich Krystallwasser enthalten und zwar das essigsaure Natron 9 Aeq., das essigsaure Bleioryd 3 Aeq. und das schwefelsaure Natron 10 Aeq., so hat man dasselbe mit in Rechnung zu stellen. Die Aequivalente dieser Salze sind: 189,74 für essigsaures Bleioryd, 161,3 für schwefelsaures Natron und 163,2 für essigsaures Natron. Demnach hat man $58\frac{1}{2}$ Pfd. essigsaures Bleioryd durch $49\frac{2}{3}$ Pfd. schwefelsaures Natron zu zersetzen, wenn man 58 Pfd. krystallisirtes essigsaures Natron gewinnen will.

Wir wollen ferner wissen, wie viel wasserfreien Weingeist und Essigsäurehydrat 25 Pfd. Trauben- oder Stärkezucker bei der Gährung liefern können. Das Aequivalent des Traubenzuckers ($\text{C}^{12} \text{H}^{12} \text{O}^{12} + 2 \text{ aq}$) ist = 198. Er zerfällt bei der Gährung in 2 Aeq. Alkohol ($\text{C}^4 \text{H}^6 \text{O}^2$), 4 At. Kohlensäure und 2 Aeq. Wasser. Das Aequivalent des Alkohols ist = 46, folglich erhält man aus 25 Pfd. Traubenzucker $118\frac{3}{5}$ Pfd. absoluten Alkohol. Der Alkohol verwandelt sich durch Abgabe von 2 Aeq. H und Aufnahme von 2 Aeq. Sauerstoff in Essigsäurehydrat ($\text{C}^4 \text{H}^4 \text{O}^4 = 60$), folglich entsprechen $11\frac{3}{5}$ Pfd. absoluten Alkohols 15,13 Pfd. Essigsäurehydrat.

Bei allen diesen Rechnungen ist es Hauptsache, daß man mit den chemischen Vorgängen vertraut sei, dann ergeben sich die Ansätze von selbst und die Rechnung hat dann keine Schwierigkeiten. — Sehr häufig kommt es vor, daß Flüssigkeiten zu einem bestimmten spec. Gew., sei es durch Vermischen mit Wasser oder durch

Zusatz derselben Flüssigkeit, die aber ein anderes spec. Gew. besitzt, verdünnt werden sollen. Hierbei hat man zu bedenken, daß das spec. Gew. einer Flüssigkeit nicht allein bedingt wird durch das Mengenverhältniß und das spec. Gewicht der Bestandtheile, sondern auch durch die hierbei in Folge der chemischen Affinität auftretenden Dichtigkeitsänderungen. Die letzteren sind bis jetzt nur sehr wenig erforscht und deshalb muß man sich bei diesen Rechnungen nach anderen Anhaltspunkten umschauen. Einen solchen findet man in dem Procentgehalt der Lösungen, da dieser einzig nur von dem Mengenverhältniß der Bestandtheile abhängt. Dieser ist daher anstatt des spec. Gew. in Rechnung zu stellen. Die Rechnung selbst wird dadurch sehr erleichtert, daß wir fast von allen Flüssigkeiten, die im praktischen Leben Verwendung finden, Tabellen besitzen, die uns den Procentgehalt bei verschiedenem spec. Gew. genau angeben.

Wie man hiernach den Procentgehalt für jede beliebige Menge berechnet, ist zu leicht, als daß wir nöthig hätten, dies noch besonders zu erörtern. Soll nun eine Flüssigkeit durch Vermischen zweier Flüssigkeiten von verschiedenem spec. Gew. auf ein mittleres spec. Gew. gebracht werden, so hat man für jedes der hier in Betracht kommenden spec. Gew. in der entsprechenden Tabelle den Procentgehalt zu ermitteln. Die Aufgabe lautet nun folgendermaßen: eine Flüssigkeit von a Proc. soll, durch Mischen mit einer solchen von b Proc., auf einen Gehalt von c Proc. gebracht werden. Die Gewichtsmengen seien x der Flüssigkeit von a und y der

von b Proc. Der absolute Gehalt der Menge x ist $= \frac{xa}{100}$ und der Menge

$y = \frac{yb}{100}$. Die Summe der Gehalte von x und y bildet den absoluten Gehalt

von $x + y$. — Also:

$$\frac{xa}{100} + \frac{yb}{100} = \frac{(x + y)c}{100}. \quad \text{Daraus wird}$$

$$xa + yb = xc + yc$$

$$x(a - c) = y(c - b)$$

$$x : y = c - b : a - c.$$

Die Mengen x und y verhalten sich demnach zu einander umgekehrt wie die Differenzen je ihres Procentgehaltes von dem erstrebten Procentgehalt.

50 Pfd. Weingeist von 0,835 spec. Gew. sollen zu dem spec. Gew. 0,865 verdünnt werden und zwar durch Weingeist von 0,950 spec. Gew. Wie viel von letzterem ist dazu erforderlich? Der Gehalt in 100 G.-Th.

$$\text{ist für das spec. Gew. } 0,835 = 85,5 \text{ G.-Th.}$$

$$\text{„ „ „ „ „ } 0,865 = 73,0 \text{ „ „}$$

$$\text{„ „ „ „ „ } 0,950 = 34,4 \text{ „ „}$$

Man setzt daher an:

$$50 : y = 73 - 34,4 : 85,5 - 73 = 38,6 : 12,5.$$

$$y = \frac{50 \times 12,5}{38,6} = 13,6 \text{ Pfd.}$$

Es sind also zur Verdünnung von 50 Pfd. Weingeist des spec. Gewichts 0,835 13,6 Pfd. Weingeist von 0,950 spec. Gew. erforderlich, um einen solchen von 0,865 zu erhalten.

Soll zur Verdünnung Wasser benutzt werden, so ist $b = 0$ und wir erhalten die Formel $x : y = c : a - c$. Die Menge x der concentrirten Flüssigkeit verhält sich zu der Menge y (Wasser), wie der erstrebte Procentgehalt zu dem Unterschiede desselben von dem Procentgehalt der concentrirten Flüssigkeit.

Sollen daher die 50 Pfd. Weingeist von 0,835 spec. Gew. durch Vermischen mit Wasser auf das spec. Gew. von 0,865 gebracht werden, so setzt man an:

$$50 : y = 73 : 85,5 - 73 = 73 : 12,5.$$

$$y = \frac{50 \times 12,5}{73} = 7,19 \text{ Pfd. Wasser.}$$

Soll eine Flüssigkeit von einem geringeren (a) auf einen größeren Procentgehalt (c) gebracht werden, so wird $a - c$ eine negative Größe, mithin auch y , welches dann diejenige Menge Wasser anzeigt, welche der Menge x entzogen oder durch Abdampfen entfernt werden muß. Es sollen z. B. 20 Pfd. Kalilauge von 1,2 spec. Gew. auf das spec. Gew. 1,35 gebracht werden; wie viel Wasser ist daher durch Abdampfen zu entfernen?

Dem spec. Gew. 1,2 entspricht der Procentgehalt 17

" " " 1,35 " " " 28,5.

Der Ansatz ist demnach $20 : y = 28,5 : 17 - 28,5 = 28,5 : - 11,5$.

$$y = \frac{20 \times - 11,5}{28,5} = 8,07 \text{ Pfd.}$$

Es sind also 8,07 Pfund Wasser zu verdampfen und man erhält daher $20 - 8,07 \text{ Pfd.} = 11,93 \text{ Pfd.}$ Lauge von 1,35 spec. Gew.

Sehr häufig operirt man bei diesen Mischungen nicht mit Gewichts-, sondern Raummengen und dann sind letztere vorher in erstere zu verwandeln. Statt x und y setzt man dann xs und ys' , wo s und s' die spec. Gew. von x und y ausdrücken. Man erhält also die Formeln:

$$xs : ys' = c - b : a - c \text{ und}$$

$xs : y = c : a - c$, wenn zur Verdünnung Wasser verwendet werden soll.

Da stöchiometrische Rechnungen sehr häufig auszuführen sind, so hat man mechanische Hülfsmittel erfunden, durch welche die Rechnungen bedeutend erleichtert werden. Ein solches ist die sogenannte Wollaston'sche Aequivalentenscala, die neuerdings von Bädcker wesentlich verbessert worden ist *), so daß sie auch auf die eben besprochenen Mischungen von Flüssigkeiten angewendet werden kann **).

Wir haben noch zu erörtern, wie man aus den Resultaten der Analyse die Aequivalente berechnet. Nach dieser finden wir in 100 Zinnober

86,175 Quecksilber und

13,825 Schwefel.

Dividirt man diese Zahlen durch die Aequivalentgewichte, welche dem Quecksilber und Schwefel zukommen, so ist es einleuchtend, daß die Quotienten das relative Verhältniß angeben müssen, in welchem die Aequivalente dieser Elemente u einander stehen. Führen wir die Rechnung aus, so finden wir $1 : 1$, folglich

*) Chemische Rechentafel, Giesfeld bei J. Bädcker 1852.

**) Arch. d. Pharm. [2] Bd. LXX. S. 1.

besteht der Zinnober aus 1 Aeq. Quecksilber und 1 Aeq. Schwefel, denn

$$\frac{86,175}{100,026} = 0,861 \text{ und } \frac{13,825}{16} = 0,863.$$

Als Beispiel für die Berechnung einer mehr zusammengesetzten Formel wählen wir den Alaun. Durch die Analyse sind als Bestandtheile gefunden:

Kali	9,86
Thonerde . . .	11,09
Schwefelsäure .	32,85
Wasser	46,20
	<hr/>
	100,00

Um die chemische Formel für den Alaun aufzustellen, hat man also die gefundenen procentischen Gewichtsmengen des Kalis, der Thonerde, der Schwefelsäure und des Wassers durch die dazu gehörigen Äquivalentgewichte zu dividiren, also:

$$\frac{9,86}{47,17} = 0,209; \quad \frac{11,09}{51,388} = 0,215; \quad \frac{32,85}{40,086} = 0,819; \quad \frac{46,20}{9} = 5,133.$$

Vergleicht man nun die Quotienten, so findet man, daß die des Kalis und der Thonerde nahe gleich sind, der der Schwefelsäure $\left(\frac{0,819}{0,209} = 3,92\right)$ ist

vier Mal so groß und der des Wassers $\left(\frac{5,133}{0,209} = 24,56\right)$ ist vierundzwanzig

Mal so groß. Das Verhältniß der Quotienten ist also 1 : 1 : 4 : 24, und demnach der einfachste Ausdruck für die Formel des Alauns $= \text{KO}, \text{Al}^2 \text{O}^3, 4 \text{SO}^3$ und 24 HO oder die rationelle Formel: $\text{KO}, \text{SO}^3 + \text{Al}^2 \text{O}^3, 3 \text{SO}^3 + 24 \text{Aq.}$

Diese Formel mag uns auch als Beispiel dienen, wie man aus solchen die procentische Zusammensetzung berechnet.

In 100 Theilen:

1 Aeq. Kali . . .	=	47,170	9,93
1 " Thonerde . .	=	51,388	10,83
4 " Schwefelsäure .	=	160,344	33,76
24 " Wasser . . .	=	216,000	45,48
		<hr/>	
1 Aeq. Kalialaun	=	474,902	100,00

Denn $474,902 : 47,170 = 100 : x$; $x = 9,93$ Kali. $474,902 : 51,388 = 100 : x$; $x = 10,83$ Thonerde. $474,902 : 160,344 = 100 : x$; $x = 33,76$ Schwefelsäure. $474,902 : 216,000 = 100 : x$; $x = 45,48$ Wasser. Die berechneten Zahlen stimmen allerdings nicht genau mit den gefundenen überein, aber das liegt daran, daß alle unsere Operationen mit kleinen Fehlern behaftet sind. — Bei der Aufstellung der Formeln für die Verbindungen der zweiten und dritten Ordnung kann man auch das gemeinschaftliche Element (Sauerstoff, Schwefel etc.) der verschiedenen Glieder benutzen. Berechnet man dieses, so stehen die verschiedenen Mengen desselben gleichfalls in einem bestimmten Verhältniß zu einander.

Als Beispiel der Berechnung der Resultate der Elementaranalyse organischer Substanzen wollen wir die Weinsäure wählen. Bei der Elementaranalyse von 0,320 Grm. Weinsäure haben wir 0,3755 Grm. Kohlensäure und

0,115 Grm. Wasser erhalten, das sind auf 100 G.-Th. Weinsäure 117,34 G.-Th. Kohensäure und 35,93 G.-Th. Wasser. Diese enthalten 32,24 Kohensäure und 3,99 Wasser, der Rest (63,77) ist Sauerstoff, den wir nicht direct bestimmen können. Dividiren wir diese procentischen Gewichtsmengen durch die dazu gehörigen Aequivalentgewichte, so erhalten wir

$$\frac{32,24}{6} = 5,37, \quad \frac{3,99}{1} = 3,99 \text{ und } \frac{63,77}{8} = 7,97. \text{ Diese Zahlen stehen}$$

also in dem Verhältniß von 1 : 0,74 : 1,48 oder von 4 : 2,96 : 5,92 oder von 4 : 3 : 6. Es ist nun aber noch die Frage, ob die Weinsäure wirklich aus $4C\ 3H\ 6O$ besteht oder vielleicht aus $8C\ 6H\ 12O$. Zunächst haben wir zu sehen, ob die Weinsäure Krystallwasser verliert. Das ist nicht der Fall, aber wenn wir die Weinsäure mit Bleioryd erhitzen, so gehen 11,85 Proc. Wasser fort. Der Sauerstoffgehalt desselben beträgt $\frac{1}{6}$ des gesammten, so daß also die krystallisirte Weinsäure 1 Aeq. chemisch gebundenes Wasser enthält, das durch Basen ersetzt werden kann. Die Formel ist demnach $C^4 H^2 O^5 + HO$.

Als Handbücher der Stöchiometrie haben wir anzuführen: Weinholz, Handbuch der pharmaceutisch-mathematischen Physik und Chemie. Tübingen 1832. Kammelsberg, Lehrbuch der Stöchiometrie. Berlin 1842. Hier findet man auch ein ausführliches Verzeichniß der wichtigsten Quellen. W. Sieler, erste Linsen der Stöchiometrie. Fricke, Katechismus der Stöchiometrie.

Sehen wir von der Ansicht des Hippokrates, daß sich Gleiches nur mit Gleichem vereinigt, ab, so finden wir vor dem 17. Jahrhundert keine Theorie, welche die Verwandtschaftserscheinungen zu erklären sucht. Seitdem aber, also im Laufe von fast zweihundert Jahren, hat man sich freilich vielfach damit beschäftigt. Mit der Erweiterung der empirischen Kenntnisse auf dem Gebiete der Chemie, kamen natürlich auch die Unzulänglichkeiten der Theorien an den Tag; so viel man aber hieran auch geändert hat, so ist es doch nicht gelungen, eine Theorie aufzustellen, die für alle hieher gehörigen Erscheinungen eine genügende Erklärung zu geben vermag. Daher sind denn auch vielfach noch Bruchstücke älterer Theorien im Gebrauch, so weit sie eben zur Erklärung einzelner Thatfachen genügen.

Die erste Theorie rührt von Boyle, also aus der letzten Hälfte des 17. Jahrhunderts, her. Er macht die Verbindungs- und Zersetzungserscheinungen abhängig von der Anziehung der kleinsten Theilchen, aus denen er sich die Körper zusammengesetzt dachte. Je mehr Verwandtschaft zwei Körper zu einander haben, um so stärker ziehen sich die kleinsten Theilchen an und um so dichter legen sie sich bei der Verbindung an einander. Diese Theorie, die auch von Newton aufgestellt wurde, ist erst in den letzten 50 Jahren zur Ausbildung gelangt und fand dann allgemeine Anerkennung. Inzwischen stritt man sich darüber, ob die allgemeine Anziehungskraft der Materie gleichbedeutend sei mit der chemischen Verwandtschaft und ob nicht die verschieden große Anziehung zwischen den kleinsten Theilchen verschiedener Körper, die man nur zu oft thatsächlich wahrgenommen hatte, von der verschiedenen Gestalt dieser kleinsten Theilchen, die man sich durch mechanische Mittel nicht mehr einzeln wahrnehmbar dachte, herrühre. Man ver-

suchte es auch die Größe der Verwandtschaft zu messen, aber dafür fehlt uns jede directe Bestimmung. Man kann hier nur Vergleiche anstellen, aber die Meinungen der verschiedenen Chemiker hierüber sind sehr abweichend. Außerdem aber erleidet ja die Stärke der Verwandtschaft durch verschiedene Umstände, so z. B. je nach der Menge, in der die Körper mit einander in Berührung kommen und der Temperatur, Veränderungen, so daß also ein allgemein gültiges Maß sich nicht aufstellen läßt.

Die ersten allgemeinen Sätze, die meistens heute noch Geltung haben, wurden 1780 von Bergmann aufgestellt. Die wichtigsten sind folgende: unter denselben Umständen bleibt die Verwandtschaft zweier Körper dieselbe; sie wird nicht bedingt durch das Mengenverhältniß der auf einander wirkenden Körper. Er war ferner der Ansicht, daß ein Zusammenhang statte zwischen der Größe der Verwandtschaft zwischen Säuren und Basen und ihrem Verbindungsverhältniß zu neutralen Salzen, so daß eine Säure unter mehreren Basen zu derjenigen eine größere Verwandtschaft äußere, von welcher sie bei der Bildung eines neutralen Salzes die größere Menge aufnehmen könne. Dasselbe sollte auch bei den Basen der Fall sein. Zu diesen Sätzen wurde Bergmann durch seine Analysen, die aber als die ersten überhaupt nicht richtig waren, verleitet und so haben sich diese Sätze auch nicht bestätigt.

Mit einer neuen Theorie, die häufig noch jetzt Berücksichtigung findet, trat Berthollet auf. Nach ihm haben alle Körper zu einander Verwandtschaft, aber diese ist nicht allein an sich verschieden, sondern auch die physikalischen Eigenschaften der auf einander wirkenden oder sich daraus bildenden Substanzen haben darauf noch einen besondern Einfluß, namentlich die Cohäsion, worunter Berthollet Schwerlöslichkeit versteht, und die Elasticität, das Bestreben der kleinsten Theilchen, einen möglichst großen Raum zu füllen, d. h. in den gasförmigen Zustand überzugehen.

Beide wirken dahin, daß sich die Körper der unmittelbaren Berührung mit anderen, also der chemischen Einwirkung, entziehen. Berthollet ist ferner der Ansicht, daß das, was der Verwandtschaft an Kraft abgehe, durch die Menge der Substanz gesteigert werden könne, so daß also die chemische Wirkung einer Substanz stets proportional sei dem Product aus ihrer Masse und der Verwandtschaft zu dem Körper, auf welchen sie wirkt. Eben dieses Product nennt Berthollet *masse chimique*, das man im Deutschen mit chemische Masse oder chemisches Moment einer Substanz wiedergegeben hat. Eine vollständige Zersetzung soll die chemische Verwandtschaft ohne Beihülfe der Cohäsion und Elasticität nie zu Wege bringen; also existirt bei Berthollet weder einfache noch doppelte Wahlverwandtschaft in dem Sinne Bergmann's.

Versetzt man z. B. eine Lösung von essigsaurem Kali hinlänglich mit Schwefelsäure, so wird ersteres nicht, wie Bergmann es annahm, vollständig zersetzt, sondern das Kali theilt sich in die Säuren in dem Verhältniß der chemischen Massen derselben, so daß also ein chemisches Gleichgewicht hergestellt wird. Die Flüssigkeit enthält also neben dem neutralen schwefelsauren Kali freie Schwefelsäure und neben dem neutralen essigsauren Kali freie Essigsäure. In dem Maße aber sich das schwefelsaure Kali ausscheidet oder die Essigsäure verflüchtigt, also das chemische Gleichgewicht gestört wird, schreitet die Zersetzung des essigsauren Kalis weiter fort, bis endlich die ganze Masse desselben zersetzt ist. Dasselbe gilt auch von der

gegenseitigen Zersetzung, also der doppelten Wahlverwandtschaft. Je größer die Cohäsion, also je unlöslicher die bei der Einwirkung resultirende Verbindung ist, um so vollständiger geht die Zersetzung vor sich *).

Nach Berthollet befinden sich in einer wässerigen Lösung, die Schwefelsäure, Salzsäure, Natron und Magnesia enthält, vier Salze, indem sich die beiden Säuren in jede der beiden Basen theilen, also Glaubersalz und Bittersalz und Kochsalz und Chlormagnesium. Daß man aus dieser Flüssigkeit bei verschiedenen Temperaturen verschiedene Salze erhalten kann, so daß bei einer Temperatur dieselbe Base sich vorzugsweise mit der einen Säure, bei einer anderen Temperatur aber mit der anderen Säure vereinigt, erklärt Berthollet aus dem Wechsel der Cohäsion, die bei verschiedener Temperatur verschieden ist. Durch das sich ausscheidende Salz wird dann das chemische Gleichgewicht der Lösung gestört, die Zersetzung dadurch fortgeführt, bis das eine Salz sich vollständig abgeschieden hat. — Setzen die Cohäsion und die Elasticität den Verbindungsverhältnissen keine Grenzen, so können sich die mit einander verwandten Körper in allen möglichen Verhältnissen mit einander verbinden; diese Verbindungen sind natürlich nur Flüssigkeiten. Ueberhaupt nimmt er nur selten constante Verbindungen an, wie z. B. zwischen Säuren und Basen.

Seitdem hat die Chemie viele Thatfachen erforscht, die theils mit Berthollet's Lehren im Einklang, theils damit im Widerspruch stehen. Die Schwerlöslichkeit übt allerdings in vielen Fällen einen entschiedenen Einfluß auf die Resultate, sei es bei Verbindungen oder Zersetzungen, aus. So z. B. zersetzen sich zwei in Wasser lösliche Salze nur dann, wenn die eine der daraus resultirenden Verbindungen in Wasser weniger löslich ist als die ursprünglichen Verbindungen. Aber von der Cohäsion allein hängt die Schwerlöslichkeit nicht ab, sondern hauptsächlich auch von der Verwandtschaft zu dem Auflösungsmittel, denn sonst müßte sich ja bei einem Salze, das in Wasser leicht-, in Weingeist oder Aether aber schwerlöslich ist, in diesen Fällen eine ganz verschiedene Cohäsion geltend machen. — Bei Zersetzungen nehmen wir mitunter wahr, daß bis zur gänzlichen Vollendung der Einwirkung eine gewisse Zeit erforderlich ist. Namentlich beobachten wir dies bei Fällungen aus verdünnten Lösungen und hierdurch erhält Berthollet's Ansicht, daß dieser Vorgang nicht auf einmal, sondern nach und nach eintritt, einen gewissen Grad von Wahrscheinlichkeit. Ebenso hat die Ansicht von dem Einfluß der Massen Einiges für sich, denn in gewissen Fällen bewirkt ein Ueberschuß eines Zersetzungsmittels ganz andere Erfolge, als wenn eine geringere Menge desselben in Anwendung kommt. Wie die Mengenverhältnisse überdies mitunter von Einfluß sind, haben wir bereits bei der reciproken Verwandtschaft besprochen. Aber für alle Fälle kann Berthollet's Ansicht nicht maßgebend sein. Von einer theilweisen Zersetzung, wie sie Berthollet beim essigsauren Kali durch Schwefelsäure vor sich gehen läßt, ist in vielen Fällen gar keine Rede. So wird z. B. oxalsaures Bleioryd vollständig durch die genau gleichwerthige Menge Schwefelsäure zerlegt, und einer Lösung von schwefelsaurem Kali mögen wir noch so viel Vorsaure zusehen, es scheidet sich nicht die geringste

*) Bunsen, Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXV. S. 137. — Debus, ebenda S. 103; Bd. LXXXVI. S. 186 und Bd. LXXXVII. S. 238.

Menge von freier Schwefelsäure ab. Wie sich zwei lösliche Salze in dem Gemisch ihrer Lösungen verhalten, läßt sich kaum empirisch ermitteln *).

So benutzte man denn heute zur Erklärung der Verwandtschaftserscheinungen theilweise Ansichten von Bergmann, theilweise solche von Berthollet, obgleich sich beide Theorien in ihrem Wesen geradezu widersprechen. Da man eben keine andere Theorie hat, die alle Erscheinungen erklärt, so sucht man sich eben mit dem, was da ist, zu helfen, so gut es gehen will.

Fast gleichzeitig mit Berthollet's Lehre von der Verwandtschaft machten sich in Deutschland Ansichten geltend, die den bisher gebräuchlichen widersprachen. Es sind dies die sogenannten dynamischen Theorien. Der Unterschied der sogenannten atomistischen oder Corpusculartheorie und der dynamischen besteht zum Theil darin, daß nach der ersteren sich die kleinsten Theilchen der Bestandtheile neben einander lagern, während nach der anderen in den kleinsten Theilchen einer Verbindung die Bestandtheile nicht mehr für sich bestehen, sondern, so zu sagen, zusammen verschmolzen sind. Nach ersterer würde das kleinste Theilchen Zinnober sich doch immer noch in Schwefel und Quecksilber theilen lassen, nach der letzteren dagegen nicht. Diese Theorie fand wenig Anklang und wurde namentlich durch Dalton's sogenannte atomistische Theorie sehr in den Hintergrund gedrängt. Die Dynamiker haben mehr bei sich selbst eine größere Befriedigung und Belohnung gefunden. Indessen sind auch neuerdings wieder Versuche gemacht, die chemischen Vorgänge nach den Grundsätzen der dynamischen Theorie zu erklären. So z. B. von Reinsch, *Jahrb. f. prakt. Pharm.* Bd. XXVI. S. 273; Schnau- bert, *Journ. f. prakt. Chem.* Bd. V. S. 59; Hunt, *Silliman americ. Journ.* [2] Vol. XIX. p. 100.

Ueberhaupt beschäftigt man sich seit dem Anfange unseres Jahrhunderts, nachdem die Chemie durch Lavoisier einen neuen Aufschwung erhalten hatte, mehr mit der Erforschung der Thatfachen, als mit Aufsuchung von Theorien. Durch das erstere wurden die Chemiker so in Anspruch genommen, daß nur wenig Versuche gemacht wurden, die Verwandtschaft ihrer Ursache nach oder im Zusammenhange mit anderen schon bekannten Kräften zu erkennen. Wir haben hier nur die sogenannte elektrische Theorie zu erwähnen, die auf der Ansicht beruht, daß die Verwandtschaftserscheinungen durch die elektrischen Eigenthümlichkeiten der verschiedenen Körper bedingt sind. Die Entwicklung dieser Theorie steht im engsten Zusammenhange mit der Erweiterung unserer Kenntnisse über die chemische Kraft der Elektricität, mit der Geschichte des Electrochemismus. Dieser Zeitpunkt trat ein mit der richtigen Erklärung der bekannten Entdeckung Galvani's durch Volta und der letzteren Entdeckung der galvanischen Säule. Besonders beschäftigten sich Berzelius und Häfinger damit, den Einfluß der galvanischen Elektricität auf chemische Verbindungen kennen zu lernen. Doch waren nicht sie

*) Margueritte: über die Zersetzung zweier Salze in Lösungen, wenn eines von ihnen bereits das schwerlösliche von den 4 Salzen ist, die entstehen können aus den zwei Säuren und Basen. *Compt. rend. T. XXXVIII. p. 304.* — Gladstone, über dieselbe Frage. *Phil. Mag.* [4] Vol. VII. p. 372. — Malaguti, *Ann. de Chim. et de Phys.* [3] T. XXXVII. p. 198. — Menzies, *Journ. für prakt. Chem.* Bd. LXVI. S. 465. — Tissier, *Compt. rend. T. XLI. p. 362.* — H. Rose, Zersetzung unlöslicher Salze durch die Lösungen löslicher Salze. *Pogg. Ann.* Bd. XCIV. S. 481; Bd. XCV. S. 284 und 426.

es, sondern Davy, der zuerst eine elektrochemische Theorie aufstellte. Die Zersetzungen der Salze durch den elektrischen Strom leiteten ihn zu der Annahme, daß alle Substanzen, die chemische Affinität zu einander haben, sich in einem verschieden elektrischen Zustande befinden, und daß die Stärke der Verwandtschaft proportional sei der Intensität der elektrischen Spannung zwischen beiden. Er sprach es bestimmt aus, daß chemische Verbindungen und Zersetzungen abgeleitet werden müssen von elektrischen Anziehungen und Abstoßungen und daß die chemischen und elektrischen Erscheinungen von derselben Ursache hervorgebracht werden.

Eine weitere Ausbildung erfuhr diese Theorie durch Berzelius. Er nahm an, daß in den kleinsten Theilchen eines Körpers Pole existirten und in jedem dieser Pole eine verschieden große Menge oder Intensität freier Elektricität vorhanden sei. Beide Ansichten entlehnte Berzelius aus der sogenannten krystallelektrischen Theorie von Schweigger, die keine allgemeine Beachtung gefunden hat. Vom Vorkommen der Elektricität in dem einen Pol hängt die Stelle ab, welche der Körper in der elektrischen Reihe einnimmt; man hat demnach elektropositive — die Metalle und Basen — und elektronegative Körper — Sauerstoff, Chlor und ähnliche, so wie die Säuren —, die wiederum je nach der Menge der freien Elektricität unter sich eine gewisse Reihenfolge einnehmen. Nach Berzelius besteht die Verwandtschaft nur in der Intensität der elektrischen Polarisation, die wiederum von der Temperatur abhängig ist. Eine chemische Verbindung geht demnach in der Art vor sich, daß sich je zwei der kleinsten Theilchen ungleichartiger Substanzen mit denjenigen Enden zusammenlegen, welche entgegengesetzte Elektricitäten im freien Zustande enthalten. Es findet hierbei eine vollständige oder theilweise Ausgleichung der Elektricitäten statt, wodurch Wärme frei wird. Da in einer solchen Verbindung wiederum in jedem kleinsten Theilchen an entgegengesetzten Stellen freie Elektricität vorhanden ist, so können sich auch zwei Verbindungen mit einander vereinigen. In jeder chemischen Verbindung sind demnach zwei nähere Bestandtheile enthalten, ein elektropositiver und ein elektronegativer oder auch zwei gleichnamige, von denen aber der eine stärker elektrisch ist als der andere.

Obgleich diese Theorie, ebenso wie die ältere gewöhnlichere Auffassung der Verwandtschaftswirkungen, im strengen Sinne keine Erklärung, sondern nur eine Umschreibung der Thatfachen ist, so steht sie jetzt doch noch in Ansehen. Man schließt auf die elektrochemischen Eigenschaften einer Substanz fast nur aus den chemischen Vorgängen und betrachtet jene als veränderlich, weil dies zu der vermeintlichen Erklärung erforderlich ist.

Die Entdeckung der festen Verhältnisse, unter denen die chemischen Verbindungen stets erfolgen, trug am meisten zur Widerlegung der Berthollet'schen Ansichten bei. Andererseits befestigte sich dadurch immer mehr die Ansicht, daß die chemischen Verbindungen durch Aneinanderlagerung der kleinsten Theilchen entstehen, und dadurch entstand die sogenannte atomistische Theorie, als deren Urheber wir Dalton anzusehen haben.

Wir sprechen hier von Atomen nur im gewöhnlichen chemischen Sinne. Nach Dalton's Theorie, die er 1808 in seinem Werke *New System of Chemical Philosophy* aufstellte, sind alle Körper bis zu einer gewissen Grenze theilbar; die letzten untheilbaren kleinen Theilchen sind die Atome (wörtlich das Untheilbare), die bei demselben Körper stets ein gleiches Gewicht und eine gleiche Größe besitzen, aber bei den verschiedenen einfachen Körpern ein verschiedenes Gewicht und wahr-

scheinlich auch eine verschiedene Größe besitzen. Jedes Atom ist mit einer Wärmesphäre umgeben, so daß also eine unmittelbare Berührung zweier Atome, seien es gleichartige oder ungleichartige, nie statt hat. Dadurch, daß sich eine ungeheure Anzahl von Atomen neben einander lagern, entstehen Massen. Aus solchen gleichartigen Atomen bestehen nun alle Elemente und dadurch, daß diese Atome von denen anderer Elemente in Folge der chemischen Verwandtschaft angezogen werden, durch Nebeneinanderlagerung die chemischen Verbindungen, die wiederum aus Atomen, nun aber zusammengesetzten bestehen. Die chemische Zersetzung ist demnach eine Trennung der Atome der verschiedenen Körper.

Die zwischen den einfachen Atomen thätige Wärme sucht die Atome von einander zu entfernen und dieser wirkt die den Atomen innewohnende Anziehung (Cohäsion) entgegen. Je mehr Wärme zugeführt wird, um so mehr werden die Atome von einander entfernt und um so schwächer wirkt die Anziehungskraft. Waltet die letztere über die Repulsivkraft der Wärme vor, so sind die Körper fest, ist das Uebergewicht nur ein geringes, so sind sie flüssig und bei den gasförmigen waltet die Repulsivkraft vor. Bei den zusammengesetzten Atomen sind die einzelnen Atome der Bestandtheile vereinigt, so daß eben nur das zusammengesetzte Atom mit einer Wärmesphäre umgeben ist. Die zusammengesetzten Atome werden durch die chemische Verwandtschaft zusammengehalten. Zu solchen zusammengesetzten Atomen vereinigen sich die elementaren stets nur in wenigen einfachen Verhältnissen, meistens nur eins mit einem, wenn eben zwei Elemente sich nur in einem Verhältniß mit einander verbinden *). Existiren zwischen zwei Elementen mehrere Verbindungen, so kann dies nur in der Art geschehen, daß 1 Atom von A mit einem oder zwei oder drei Atomen von B, oder 2 oder 3 Atome von A mit 1 Atom von B zusammentreten u. s. w. Dasselbe findet statt, wenn sich die Verbindungen wieder unter einander vereinigen. So war es denn ganz besonders die Entdeckung der festen Verhältnisse, nach denen die Körper chemische Verbindungen eingehen, welche der atomistischen Theorie Eingang bei den Chemikern verschaffte. Allerdings giebt sie für die bereits erörterten stöchiometrischen Gesetze den einfachsten Ausdruck.

Wenn die zusammengesetzten Atome und dennoch gleichartig erscheinen, obgleich sie aus verschiedenartigen Atomen bestehen, so hat das eben darin seinen Grund, daß sie viel zu klein sind, um die Verschiedenartigkeit erkennen zu lassen. Sie sind durch mechanische Mittel ebenso untheilbar, wie die einfachen Atome; durch chemische Mittel indessen können sie wiederum getrennt werden. So viele

*) In dieser Annahme liegt jedoch etwas Willkürliches. Durch die Erweiterung unserer Kenntnisse hat sie daher wesentliche Modificationen erlitten. Denn jetzt sind eine Menge von Beispielen bekannt, wo dies nicht der Fall ist. In früherer Zeit kannte man z. B. vom Wolfram und Molybdän nur eine Verbindung, die Säuren, die man als aus 1 Aeq. des Metalles und 1 Aeq. Sauerstoff bestehend ansah. Seitdem lernte man mehrere Sauerstoffverbindungen dieser Metalle kennen und da ergab es sich denn, daß die Säure die vermeintliche Zusammensetzung nicht hatte. Noch heute existirt von verschiedenen Elementen nur eine einzige Verbindung mit einem anderen Element, und doch steht diese mit obiger Annahme im Widerspruch. So z. B. kennen wir vom Aluminium nur eine Sauerstoffverbindung, die Thonerde, und diese sehen wir nicht an als $Al + O$, sondern als $Al^2 + O^3$. Ebenso wenig hat der Satz, daß, wenn ein Element mit einem anderen mehrere Verbindungen eingeht, die niedrigste aus 1 Aeq. von beiden Elementen besteht, allgemeine Gültigkeit. Von den Sauerstoffverbindungen des Kupfers ist das Drydul nicht $Cu + O$, sondern $2 Cu + O$.

Ordnungen chemischer Verbindungen existiren, ebenso viele Ordnungen von zusammengesetzten Atomen nimmt man auch an.

Neben der Anerkennung, die Dalton's Theorie bei den Chemikern fand, machte sich gleichzeitig auch ein großer Widerspruch geltend. Die Hauptveranlassung zum Widerspruch gaben die Untheilbarkeit der Atome und die Wärmesphäre, welche, wie Schweigger sagt *), die einzelnen Atome wie mit einem Heiligenschein rings umgeben und von allen Seiten einschließen soll, damit ja kein Atom das nebenliegende unmittelbar berühre, was Dalton unzulässig fand. Wenn man einerseits auch diese Theorie in England als einheimische Pflanze sehr verehrte, so konnten sich doch auch englische Chemiker, wie z. B. Wollaston und Davy, nicht mit ihr befreunden. In Deutschland war bei einigen Chemikern die Abneigung gegen diese Theorie so groß, daß z. B. in Schweigger's Journal bei Uebersetzungen gewöhnlich das Wort Atom durch Massentheil oder Mischungsgewicht wiedergegeben wurde. Auch Gmelin gebrauchte den Ausdruck Atom in seinem Handbuch der Chemie nicht. Dann wieder gab es eine Zeit, wo dieser Ausdruck allgemein im Gebrauch war, weil man glaubte, dadurch alle Erscheinungen der quantitativen Analyse erklären oder vorhersehen zu können. Dazu, daß dieses Wort allgemeines Bürgerrecht in der Chemie erhielt, trug nicht wenig bei, daß dasselbe bereits aus dem Alterthum stammt.

Indessen kann man bei Betrachtung der quantitativen Verhältnisse der chemischen Verbindungen das Wort „Atom“ süglich durch den Ausdruck „Massenthcilchen“ ersetzen, und zwar um so mehr, je wahrscheinlicher es ist, daß diese Verhältnisse sich zunächst auf materielle Theile beziehen, die im strengen Sinne nicht als die einfachsten oder letzten Theile der Materie betrachtet werden können. Diese letzten Theilchen könnte man nun die „Grundelemente der Materie“ nennen, falls es nämlich darauf ankäme, das Wort Atom ganz zu vermeiden, wozu freilich kein vernünftiger Grund vorhanden ist. Auf Grund der neueren physikalischen Untersuchungen bezüglich der sogenannten Imponderabilien hat man sich jedes Grundelement (oder Atom) der Materie von anderen Elementen, die man durch den Ausdruck „Aether“ bezeichnet, sphärenartig eingehüllt zu denken. Eine solche Aethersphäre ist nicht ohne Weiteres mit der Dalton'schen Wärmesphäre zu identificiren; sie wird zu dieser erst durch gewisse Bewegungszustände der sie constituirenden Elemente (des Aethers). Auch haben manche dieser Untersuchungen zu der wahrscheinlichen Annahme geführt, daß die sogenannten Moleküle oder kleinsten Massenthcilchen der Materie Combinationen der einfacheren Grundelemente (Atome) seien. Wir müssen hier bezüglich dieser Gegenstände auf die Art, Licht, Wärme, Materie u. verweisen.

Literaturergänzung. Schönbein, über die chemischen Wirkungen der Elektricität, der Wärme und des Lichtes. Basel 1854. Ueber Contactwirkungen, Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXV. S. 96. — Millon, über eigenthümliche Verwandtschaftsäußerungen, ebenda Bd. XL. S. 362. — Scharling: Betrachtungen über die richtige Bedeutung des Ausdrucks: Sättigungsvermögen von Säuren. Oversigt over det K. danske Vidensk. Selskaps Forhandl. 1853. No. 7. p. 171. — Debus, Selbstzersehung chemischer Verbindungen. Ann.

*) Journ. f. prakt. Chem. und Physik. Bd. LII. S. 69.

d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXII. S. 284. — Gladstone, Bedingungen, welche die chemische Verwandtschaft modificiren. Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVII. S. 1. Versuche über die chemische Verwandtschaftskraft. Ebenda Bd. LXIX. S. 257. W. V.

Verwitterung (*dilapsio*) nennt man das Zerfallen gewisser krystallisirter Salze in trockner Luft. Diese Erscheinung beruht darauf, daß die Luft den Krystallen das Krystallwasser entführt, wodurch die Krystalle ihren Glanz, ihre Durchsichtigkeit und ihre Form verlieren und zu einem glanzlosen und undurchsichtigen Pulver zerfallen. Sie erleiden also durch Aussetzen an die Luft dieselbe Veränderung wie bei Anwendung künstlicher Wärme. Das reichere oder langsamere Zerfallen der Salze hängt ab von der Beschaffenheit der Krystallflächen und von dem Zustande der Luft. Je rauher die Krystallflächen sind, um so rascher zerfällt ein Salz. Da trockne und bewegte Luft am begierigsten Feuchtigkeit in sich aufnehmen, so erfolgt unter diesen Umständen das Zerfallen am schnellsten.

Im Allgemeinen besitzen diejenigen Salze, welche leicht löslich sind und daher beim Erkalten der Lösung krystallisiren, diese Eigenschaft. Dahin gehören besonders schwefelsaures Natron (Glaubersalz), kohlensaures Natron (Soda), phosphorsaures Natron, Natron- und Kalialaun, schwefelsaure Magnesia (Bittersalz), borsaures Natron (Borax), Eisen-, Zink-, Kupfervitriol. Alle diese Salze enthalten bedeutende Mengen von Krystallwasser. Im Allgemeinen zerfallen diejenigen Salze, die mehr Wasser enthalten, schneller, doch steht das Zerfallen mit der Größe des Wassergehaltes in keinem genauen Zusammenhang. Nach Versuchen, die Suflow über den Wasserverlust einiger Salze in gleicher Zeit angestellt hat, ergeben sich folgende Resultate:

Name des Salzes	Wassergehalt	Verlust
Glaubersalz . . .	55,77 Proc.	30,49 Proc.
Soda	62,76 "	24,69 "
Eisenvitriol . . .	39,06 "	3,49 "
Zinkvitriol . . .	37,67 "	2,09 "
Bittersalz	43,63 "	1,09 "
Kupfervitriol . .	28,85 "	0,69 "

Das Glaubersalz zerfällt am schnellsten; nach Versuchen von Gay-Lussac verliert es sämtliches Krystallwasser, während die anderen Salze in derselben Zeit nur einen Theil davon abgeben. Das Glaubersalz theilt auch anderen Salzen, die damit verunreinigt sind, diese Eigenschaft mit. So beschlägt z. B. Steinsalz, das nur 2 Proc. davon enthält, sehr leicht mit einer weißen, matten Kruste.

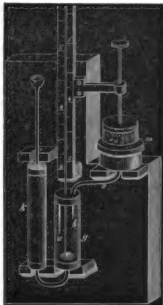
Will man das Verwittern der Krystalle verhindern, so muß man sie von Zeit zu Zeit befeuchten.

Ueber die Verwitterung der Gesteine in der Natur s. d. Art. Berg, Bd. I. S. 787. W. V.

Verirbecher, s. Heber Bd. III. S. 719.

Vitriol, s. Schwefel.

Volumenometer heißt eine von Kopp *) angegebene Vorrichtung zur Bestimmung des Volumens pulverförmiger Körper. Die wesentlichen Theile dieses Apparates kommen überein mit dem von Kopp konstruirten Differentialbarometer (i. d. Art.). In einer cylindrischen Glasröhre *k* (i. beistehende Figur) läßt sich (quecksilberdicht) ein Kolben bewegen. Diese Röhre steht durch eine feinere gebogene Röhre in Gemeinschaft mit dem Glaszylinder *g*, von dessen Deckel zwei ungleich lange Drahtspitzen herabragen. Dieser Cylinder communicirt durch die Röhre *e* mit dem Glaszylinder *m*, dessen etwas breiter Rand mit Sorgfalt eben abgeschliffen ist. Durch eine mit Fett bestrichene Glasplatte, die sich vermittelst einer Schraube auf den Rand aufdrücken läßt, kann der Cylinder luftdicht ab-



geschlossen werden. Die Schraube drückt zunächst gegen einen auf die Platte gelegten Kork. Eine offene Röhre *c* geht, wie beim Differentialbarometer, luftdicht durch den Deckel des Gefäßes *g*. Der untere Theil des Cylinders *k* ist, wie beim Differentialbarometer, mit Quecksilber gefüllt. Drückt man den Kolben in *k* von seinem höchsten Stande an tiefer hinab, so kommt das Quecksilber zunächst mit der unteren Oeffnung der Steigröhre *e* in Verührung, wo dann in den Gefäßen *g* und *m* ein bestimmtes Luftquantum abgesehen ist. Dieses Luftquantum wird nun comprimirt, wenn man den Kolben in *k* noch tiefer hinabdrückt, so daß das Quecksilber etwa bis zur Spitze *a* reicht, und demgemäß wird auch innerhalb der Steigröhre *e* mehr Quecksilber aufsteigen. Bringt man jedoch in das Gefäß *m* einen Körper, schließt dann dasselbe mittelst der Glasplatte und verfährt wie vorher, so hat man nun eine geringere Luftmenge abgesperrt, die aber beim Hinabtreiben des Kolbens und dem entsprechenden Steigen des Quecksilbers bis

zur Spitze *a* in demselben absoluten Maße, also um den Raum zwischen *a* und *c* comprimirt wird. Die jetzt abgesperrte Luft ist indeß relativ stärker comprimirt und daher wird auch in der Steigröhre eine längere Quecksilbersäule aufsteigen. Hiernach ist die Höhe der gehobenen Quecksilbersäule bedingt durch das Volumen des eingebrachten Körpers, so daß man aus der ersteren das letztere bestimmen kann. Zu diesem Behufe müssen noch bekannt sein das Volumen der abgesperrten Luft, wenn das Quecksilber gerade die untere Oeffnung der Steigröhre *e* berührt, und das Volumen, um welches die abgesperrte Luft comprimirt wird, nämlich das Volumen zwischen *c* und *a*. Sei dieses Volumen durch *v* und jenes durch *V* bezeichnet.

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XXX. S. 17.

Die pulverförmigen oder auch flüssigen Körper, deren Volumen ermittelt werden soll, bringt man nun in ein Gefäß (von Platin) von der Gestalt des Gefäßes *m*, das nicht beträchtlich kleiner als dieses ist. Nachdem der betreffende Körper in das Gefäß *m* gebracht ist, verschließt man dasselbe durch die Glasplatte und drückt dann den Kolben in *k* von seinem höchsten Stande herab, bis das Quecksilber *c* berührt, wo dann eine Luftmenge $= x$ abgesperrt sein wird. Drückt man jetzt den Kolben noch weiter hinab, bis das Quecksilber die Spitze *a* berührt, so ist die Luftmenge *x* um den Raum zwischen *c* und *a* comprimirt worden. Dieser Raum betrage *v* Kubikcentimeter, und die nun innerhalb der Steigrohre gehobene Quecksilbersäule habe eine Höhe von *h* Linien, während der Barometerstand $= B$ ist. Nun ist die comprimirt Luft einem Drucke von $B + h$ ausgesetzt, so daß sie im Verhältniß von $B + h$ zu *B* comprimirt ist. Man hat demnach die Proportion $B + h : B = x : x - v$, woraus sich *x* finden läßt.

Hat man nun vor diesem Versuche das leere Platingefäß in *m* eingesetzt, und bezeichnet man das abgesperrte Luftvolumen, wenn in diesem Falle das Quecksilber die Oeffnung *c* der Steigrohre berührt, durch *V*, so ist das Volumen *V'* des betreffenden Körpers $V' = V - x$.

Die constanten Größen *V* und *v* lassen sich für ein und dasselbe Instrument dieser Art ein für alle Mal bestimmen. Nachdem man das leere Platingefäß in *m* eingesetzt hat, treibt man den Kolben in *k* so weit hinab, bis das Quecksilber die Spitze *a* eben berührt. Hat nun das Quecksilber in der Steigrohre eine Höhe von *h* Linien bei einem Barometerstande von *B*, so gilt die Proportion $v : V = h : B + h$.

Hierauf fülle man das Platingefäß mit einer gewissen Menge Wasser, die gleich *p* Gramm sein möge, und verfahre wie vorher, indem man das Quecksilber wieder bis zur Spitze *a* treibt. Die *p* Gramme nehmen einen Raum von *p* Kubikcentimeter ein. Die gehobene Quecksilbersäule innerhalb der Steigrohre sei jetzt *h*₁. Dann hat man die Proportion $v : V = p = h_1 : B + h_1$.

Aus diesen beiden Proportionen finden sich die Werthe von *V* und *v*.

Von den beiden Scalen, die man an der Steigrohre sieht, bezieht sich die eine auf die Spitze *a*, die andere auf die Spitze *b*, so daß diese Spitzen resp. die Nullpunkte derselben sind. — Selbstverständlich kann man die vorbezeichneten Versuche auch in Bezug auf die Spitze *b* anstellen, die dann den in Rücksicht der Spitze *a* angestellten zur Controle dienen können.

Bei Körpern, welche viel Luft absorbiren, ist dieser Apparat nicht wohl anwendbar.

Eine ältere Vorrichtung zur Bestimmung des Volumens pulverförmiger Körper rührt von Gay und Leslie her und ist unter dem Namen „Stereometer“ bekannt. Man stelle sich eine gewöhnliche, beiderseits offene Barometerrohre (s. nebenstehende Figur) vor, die oben mit einem Gefäße durch eine feine, nur für die Luft durchgängige Oeffnung communicirt. Das Gefäß kann durch eine Glasplatte, die man auf den eben abgeschliffenen, mit etwas Talg bestrichenen Rand desselben drückt, hermetisch abgeschlossen werden. Man denke sich



nun die Röhre bis zur bezeichneten Oeffnung in ein Gefäß mit Quecksilber getaucht, hierauf oben luftdicht verschlossen und dann so weit aus dem Quecksilber herausgehoben, daß die in der Röhre schwebende Quecksilbersäule halb so lang ist, als die Quecksilbersäule in einem Barometer. Mag dies der Fall sein, wenn die Oberfläche des Quecksilbers in der Röhre sich bei α befindet. Dann nimmt die Luft, welche vorhin das Gefäß erfüllte, dieses und einen Theil der Röhre bis α ein, und ihr Volumen ist verdoppelt. Das Volumen des Gefäßes ist aber gleich dem Volumen des Röhrentheils von α an bis zur Oeffnung in das Gefäß. Oeffnet man nun die Röhre wieder und taucht sie abermals so tief ins Quecksilber wie vorhin, giebt aber in das Gefäß den gepulverten, abgewogenen Körper, schließt das Gefäß von oben, auf die angegebene Weise, luftdicht: so braucht man jetzt, wo ein geringeres Luftquantum abgeperrt ist, die Röhre weniger hoch zu heben, damit die Quecksilbersäule innerhalb der Röhre dem halben Barometerstand gleich werde. Steht nun, wenn die Quecksilbersäule in der Röhre gerade die Hälfte der Barometerhöhe ausmacht, das Quecksilber bei β , so befindet sich die Hälfte der Luft, die im Gefäße enthalten war, in der Röhre, so daß der noch freie Raum des Gefäßes dem Volumen des Röhrentheils von der Oeffnung bis zu β gleich ist. Das Volumen der im Gefäße enthaltenen pulverigen Masse ist dann aber gleich dem Volumen des Röhrentheils $\alpha\beta$.

Zum wirklichen Gebrauche läßt sich diesem Apparate eine zweckmäßige Einrichtung geben. Die Glasröhre kann man in gleiche Raumtheile einteilen, und mit einer entsprechenden Scala versehen; eine zweite in Linien getheilte Längenscala dient zum Messen der in der Röhre befindlichen Quecksilbersäule.

Hat man mit Hülfe dieses Stereometers oder des Kopp'schen Volumenometers das Volumen eines pulverförmigen Körpers ermittelt, dessen absolutes Gewicht durch die Wage bestimmt ist, so ergibt sich hieraus auf bekannte Weise leicht das specifische Gewicht des Körpers.

Einige Formeln in Rücksicht auf die Anwendung des eben beschriebenen Stereometers hat Volpicelli aufgestellt *).

Auch Regnault **) hat ein Volumenometer angegeben, das mit den vorbeschriebenen im Wesentlichen auf demselben Princip beruht. Mit demselben hat Grassi die Dichtigkeiten verschiedener Körper bestimmt ***).

Volumtheorie. Kurz nachdem Dalton das Gesetz der multiplen Proportionen entdeckt hatte, fand auch Gay-Lussac ein einfaches Gesetz, nach dem sich die Gasarten unter sich verbinden. Zwar hatten bereits Lavoisier, Berthollet und Wauquelin bei der Darstellung des Wassers versucht, das Verhältniß zu bestimmen, in welchem sich Sauerstoff und Wasserstoff dem Raume nach mit einander zu Wasser verbinden, aber sie folgerten aus den gefundenen Thatfachen nicht, daß hier ein einfaches Verhältniß zu Grunde liege. Auf diese Regelmäßigkeit wurde zuerst Gay-Lussac geführt, als er 1805 in Gemeinschaft mit

*) Archives de scienc. phys. et natur. Gén. T. XXXVI. p. 342; Annali di scienze matematiche e fisiche, compilati da B. Tortolini, 1837. Maggio, 168.

**) Ann. de Chim. et Phys. Sér. III. T. XIV. p. 207; Pogg. Ann. Bd. LXVI. S. 415.

***) Journ. de Pharm. et de Chim. Mars 1847. p. 184; Dingler's polyt. Journ. Bd. CIV. S. 428.

Alexander v. Humboldt in Folge ihrer bekannten Untersuchung über die Zusammensetzung der Luft genöthigt war, genau das Verhältniß zu bestimmen, nach welchem sich Sauerstoff und Wasserstoff dem Raume nach zu Wasser vereinigen. Sie stellten fest, daß 100 Raumtheile Sauerstoff genau 200 Raumtheile Wasserstoff erfordern, wenn beide sich zu Wasser vereinigen sollen. Es ergibt sich hieraus das einfache Verhältniß 1 : 2.

Diese Thatsache wurde später für die theoretische Chemie von bedeutenden Folgen. Doch erst drei Jahre später, nachdem bereits Dalton das Gesetz der multiplen Proportionen aufgestellt hatte, gab Gay-Lussac jener Thatsache eine allgemeine, weitgreifende Bedeutung *). Er hatte eine große Zahl von chemischen Verbindungen, deren Bestandtheile Gase sind, wie z. B. Salmiak, Ammoniak, Schwefelsäure, Kohlensäure, Kohlenoxyd, die Verbindungen des Stickstoffs mit Sauerstoff etc. genau untersucht und hierbei gefunden, daß, wenn die Gase sich unter einander verbinden, dies stets in einfachen Verhältnissen der Raumtheile geschieht. Vereinigen sich also gasförmige Körper mit einander zu chemischen Verbindungen, so treten stets zu einem Volumen des einen 1, $1\frac{1}{2}$, 2, $2\frac{1}{2}$, 3, 4, 5, 6 etc. Volume des anderen Gases.

Folgende Beispiele mögen dieses Gesetz erläutern:

1 Vol. Stickstoffgas	+	1 Vol. Sauerstoffgas	=	Stickstoffoxydgas,
1 "	+	$1\frac{1}{2}$ "	=	salpetrige Säure,
1 " Sauerstoffgas	+	2 " Wasserstoffgas	=	Wasser,
1 " Stickstoffgas	+	$2\frac{1}{2}$ " Sauerstoffgas	=	Salpetersäure,
1 " "	+	3 " Wasserstoffgas	=	Ammoniak,
1 " Schwefelgas	+	6 " Sauerstoffgas	=	schweflige Säure,
1 " "	+	9 " "	=	Schwefelsäure.

Die verschiedenen Oxydationsstufen des Stickstoffs führten ihn zu der Erkenntniß, daß auch hier eine Gesetzmäßigkeit statfinde; daß nämlich, wenn sich ein gasförmiger Bestandtheil in mehreren Verhältnissen mit einem anderen Gase verbindet, die Mengen des ersteren (dem Raume oder Volumen nach), welche sich mit derselben Volummenge des zweiten verbinden, einfache Multipla unter einander sind. So fand er z. B., daß in den Verbindungen des Stickstoffs mit Sauerstoff die Bestandtheile, sofern wir uns diese im gasförmigen Zustand denken, in folgenden Verhältnissen enthalten sind:

im Stickstoffoxydul	auf 2 Maß Stickstoffgas	1 Maß Sauerstoffgas,
" Stickstoffoxyd	" 2 "	" 2 " "
in der salpetrigen Säure	" 2 "	" 4 " "

Gay-Lussac zeigte ferner, daß das Volum einer solchen chemischen Verbindung im gasförmigen Zustande zu der Summe der Volume der einzelnen Bestandtheile gleichfalls in einem einfachen Verhältniß steht, d. h. daß jenes entweder der Summe der Volume der Bestandtheile gleich ist oder die Hälfte, ein Drittel etc. davon beträgt. Im ersteren Falle bleibt also das Volum unverändert, während im letzteren eine Verdichtung eintritt. So geben z. B. 1 Volum Stickstoffgas und 3 Volume Wasserstoffgas 2 Volume Ammoniak: hier ist also das Volumen der

*) Sur la combinaison des substances gazeuses les unes avec les autres. Mémoires de la société d'Arcueil. T. II. Paris 1809.

Verbindung gleich der Hälfte der Summe der Volume der Bestandtheile, bei der salpetrigen Säure dagegen gleich zwei Drittel, denn hier verbinden sich 1 Maß Stickstoffgas mit 2 Maß Sauerstoffgas zu 2 Maß salpetriger Säure. Hierbei findet also eine Verdichtung der Volume der Bestandtheile statt. Dagegen liefern 1 Vol. Stickstoffgas und 1 Vol. Sauerstoffgas 2 Vol. Stickstoffoxydgas und 1 Vol. Chlorgas mit 1 Vol. Wasserstoffgas 2 Vol. Chlornasserstoffgas. Hier tritt also keine Veränderung der Volume ein. Dies kommt indessen weniger häufig vor, als eine Aenderung der Volume der Bestandtheile.

Das Gesetz Gay-Lussac's läuft also mit dem Dalton's auf eins hinaus; der Unterschied ist nur der, daß Jener mit dem Namen Volum belegt, was dieser Atom nannte. Hiernach mußte also ein Volum eines Gases zugleich auch ein Atomgewicht desselben sein und gleiche Volume verschiedener Gase mußten im Verhältniß ihrer Atomgewichte schwer sein. Und daraus folgt wieder, daß die specifischen Gewichte der Gase zugleich auch ihre Atomgewichte sind, oder doch in einem einfachen Verhältniß dazu stehen. Mit dieser Folgerung ließen sich aber die damaligen Thatsachen nicht zusammenreimen. Die Ermittlungen der specifischen Gewichte der Gasarten litten damals in hohem Grade an Unvollkommenheit und auf diese ungenauen Bestimmungen sich stützend versagte Dalton dem Gesetze Gay-Lussac's seine Anerkennung. Da indessen die Behauptungen des letzteren ihren Grund in sehr genauen Beobachtungen hatten, so konnte die Erkenntniß der Uebereinstimmung beider Gesetze nicht ausbleiben.

Berzelius war es, der bei Gelegenheit der Atomgewichtsbestimmungen der einzelnen Körper die Volumtheorie aufstellte. Er nahm für die gasförmigen Elemente an, daß gleiche Volume derselben bei gleichem Druck und gleicher Temperatur auch gleich viel Atome enthielten. Diese Betrachtungsweise, nach der bei solchen Gasen das Atomgewicht durch ihr spec. Gew. ausgedrückt sein muß, bezeichnete er als Volumtheorie im Gegensatz zur Corpusculartheorie, nach der die Quantitäten, in denen sich die Körper zu chemischen Verbindungen vereinigen, dem Gewichte nach betrachtet werden.

Die Annahme, daß in gleichen Raumtheilen der Gase stets eine gleiche Anzahl von Atomen enthalten sei, stützt sich auf ein bekanntes physikalisches Gesetz, nach welchem alle Gasarten durch eine gleiche Wärmemenge sich um dieselbe Größe ausdehnen. Als Grund hiervon nimmt man an, daß das Volum eines Atoms der verschiedenen Gase gleich groß ist. Hieraus folgt, daß, wenn die Gase in dem Raumverhältniß von 2 : 1 eine chemische Verbindung eingehen, diese auch in demselben Atomverhältniß erfolgt sein muß. Hatte ja doch schon Gay-Lussac selbst an die Stelle des Wortes Atom die Bezeichnung Volum gesetzt. Wasserstoff und Sauerstoff verbinden sich z. B. dem Raume nach in dem Verhältniß von 2 : 1 zu Wasser, folglich besteht letzteres auch aus 2 Atom Wasserstoff und 1 Atom Sauerstoff.

Aus dieser Ansicht folgt ferner, daß das Verhältniß des spec. Gew. der Gase zugleich auch das Verhältniß ihrer Atomgewichte sein muß. Ist das specifische Gewicht bei einem Gase doppelt so groß, als bei einem anderen, so muß jenes auch ein doppelt so großes Atomgewicht haben. Gleiche Volumina enthalten bekanntlich eine gleiche Anzahl von Atomen, wiegt daher das eine Volum doppelt so viel als das andere, so kann es nur daher kommen, daß jedes einzelne Atom des einen bereits doppelt so schwer ist als jedes einzelne des andern.

Die nachfolgende Zusammenstellung macht uns die Beziehungen zwischen dem specifischen Gewicht und dem Atomgewicht anschaulich. Der besseren Uebersicht wegen haben wir neben dem gewöhnlichen spec. Gew., wobei man das der Luft = 1 setzt, auch noch dasjenige gestellt, welches sich ergibt, wenn man das spec. Gew. des Sauerstoffs = 100 annimmt.

Einfache Gase	Specifisches Gewicht		Atomgewicht	Aequivalent	Verhältniß des spec. Gew. zu dem Gewicht der Aequivalente
	Luft = 1	Sauerstoff = 100			
Sauerstoff	1,10280	100	100	100	1 : 1
Wasserstoff	0,06880	8,24	6,24	12,48	1 : 2
Stickstoff	0,97600	88,53	87,53	175,06	1 : 2
Fluor	1,28894	116,90	117,72	235,44	1 : 2
Chlor	2,44033	221,30	221,64	443,28	1 : 2
Brom	5,39337	489,20	499,81	999,62	1 : 2
Jod	8,70111	789,75	792,99	1585,99	1 : 2
Schwefel	6,64800	602,94	200,75	200,75	3 : 1
Kohle	0,84279	76,43	75,12	75,12	1 : 1
Bor	0,74967	67,99	136,20	136,20	1 : 2
Kiesel	1,01983	92,48	277,78	277,78	1 : 3
Phosphor	4,32730	392,46	196,02	392,04	1 : 1
Arsenik	10,36200	939,78	469,40	938,80	1 : 1
Zinn	8,10735	734,39	735,29	735,29	1 : 1
Titan	3,34844	303,69	301,55	301,55	1 : 1
Quecksilber	6,97848	632,91	1250,00	1250,00	1 : 2

Ein Blick auf die vorstehende Zusammenstellung lehrt, daß das vorhin erwähnte Gesetz, nach welchem gleiche Volume der Körper in Gasform eine gleiche Anzahl von Atomen enthalten, keine allgemeine Gültigkeit besitzt. Wollte man dieses Gesetz gelten lassen, so müßte man zum Theil die Atomgewichte, wie z. B. beim Bor, Kiesel und Quecksilber verkleinern oder wie z. B. beim Schwefel vergrößern. Im letzteren Falle wäre das, was man jetzt als 1 At. Schwefel ansieht, nur $\frac{1}{3}$ At. Demnach also wäre die Schwefelsäure zusammengesetzt aus 1 At. Schwefel und 9 Atom Sauerstoff, die schweflige Säure aus 1 At. Schwefel und 6 At. Sauerstoff und die Unterschwefelsäure gar aus 2 At. Schwefel und 15 At. Sauerstoff. Diese Verhältnisse sind der Art, daß man es nicht gewagt hat, um das alte Gesetz der Volumtheorie zu erhalten, hiernach die Aequivalentzahlen zu ändern. Statt dessen hat man jenes Gesetz aufgegeben, da die Erfahrung gelehrt hat, daß gleiche Volume der verschiedenen Gase nicht immer eine gleiche Anzahl von Atomen enthalten. Im Gegentheil wird der Raum, den beispielsweise 100 Sauerstoffatome einnehmen, durch 300 Schwefelatome, 200 Phosphor- und Arsenikatome oder durch 50 Quecksilberatome ausgefüllt. Wenn nun auch die Atomgewichte der verschiedenen einfachen Körper nicht gleich sind mit dem Gewicht eines Volums (dem spec. Gew.) derselben in Gasform, so stehen beide wenigstens in einem sehr einfachen Verhältniß zu einander, wie dies die vorstehende Tabelle ergibt.

Dividirt man das Gewicht eines Atoms durch das Gewicht eines Volums (das spec. Gew.), so giebt der Quotient das Atomvolum an, oder wie es gleichfalls benannt wird, das Aequivalentvolum, Molecularvolum oder specifisches Vo-

lum. Wären nun in gleichen Volumen der Gase gleich viele Atome enthalten, dann müßte das Atomvolum bei allen gleich groß ($= 1$) sein. Bei näherer Betrachtung der vorstehenden Tabelle erhalten wir folgende Resultate:

Einfache Gase	Atomvolum	Einfache Gase	Atomvolum
Sauerstoff . . .	1	Kohle	1
Wasserstoff . . .	1	Bor	2
Stickstoff	1	Kiesel	3
Fluor	1	Phosphor	$\frac{1}{2}$
Chlor	1	Arsenik	$\frac{1}{2}$
Brom	1	Zinn	1
Jod	1	Titan	1
Schwefel	$\frac{1}{3}$	Quecksilber . . .	2

Wir kommen hier also zu demselben Resultat: nicht daß die Volume gleich groß sind, wohl aber steht die Größe derselben in einem einfachen Verhältniß zu einander. Bei den zusammengesetzten Gasen kann von vorneherein von einer Gleichheit des Atom und Volumen nicht die Rede sein, da bei vielen Verbindungen ja eine Zusammenziehung stattfindet. Aber auch hier kommt, wie die folgende Zusammenstellung lehrt, ein einfaches Verhältniß zum Vorschein:

Verbindung	Formel	Atomgewicht	Spec. Gew. Sauerstoff = 100	Atomvolum
Arsenige Säure . . .	AsO_3	1239	1243,42	1
Schwefelwasserstoff . .	HS	212,5	106,57	2
Kohlensäure	CO_2	275	137,95	2
Stickstoffoxydul . . .	NO	275	137,95	2
Stickstoffoxyd	NO_2	375	94,05	4
Chlornasserstoff . . .	HCl	455,8	114,28	4
Ammoniak	NH_3	212,5	53,32	4
Chloräthyl	$\text{C}^2 \text{H}^5 \text{Cl}$	805,8	202,07	4
Valeriansaures Aethyl- oxyd	$\text{C}^{14} \text{H}^{14} \text{O}^4$	1625	407,58	4

Hiernach erfüllt also ein Atomgewicht einer zusammengesetzten gasförmigen Substanz einen ebenso großen Raum, wie ein Atomgewicht Sauerstoff unter denselben Umständen (d. h. demselben Druck und derselben Temperatur), oder einen Raum, welcher wenigstens zu dem eines Atomgewichts Sauerstoff in einem einfachen Verhältniß steht. Bei einzelnen Verbindungen, wie z. B. den Säuren aus der Reihe $\text{C}^n \text{H}^n \text{O}^4$, den Kampherarten, Phosphorchlorid etc. beobachtet man ein constantes und einfaches Verhältniß erst bei Temperaturen, welche bedeutend hoch über dem Siedepunkt liegen; bei anderen, wie z. B. dem Alkohol und Aetherarten dagegen schon in der Nähe des Siedepunktes. Bei den organischen Ver-

bindungen scheint dieses Verhältniß allgemein $= 4 : 1$ zu sein; man sagt daher, daß ein Atomgewicht im Gaszustand auf 4 Volume condensirt sei.

Da sich die Elemente bekanntlich nur nach bestimmten Gewichtsverhältnissen mit einander verbinden, so war es von großem Interesse, zu untersuchen, in welchem Verhältniß die Zahlen stehen, durch welche die Äquivalente ihrem Volumen nach ausgedrückt werden. Man hat daher in neuerer Zeit auch bei den festen und flüssigen Körpern das Verhältniß von Atom und Volum untersucht, d. h. das Atomvolum zu berechnen gesucht. Dies ist besonders durch Berzeli, Kopp und Schröder geschehen. Die Genauigkeit der hierbei erhaltenen Zahlen, also der Atomvolumen, hängt natürlich von der des Atomgewichts und des spec. Gew. ab. Das letztere läßt sich in diesen Fällen allerdings leichter bestimmen als bei den Gasen, aber die Dichtigkeit der Körper wird nicht selten durch verschiedene Umstände modificirt, so daß wir kein Mittel besitzen, den Normalzustand derselben herauszufinden. Aus diesem Grunde weichen auch die verschiedenen Angaben über das spec. Gew. der Körper sehr von einander ab, wodurch natürlich auch der Werth des Atomvolums berührt wird. Je nachdem man die Atomgewichte der Körper auf $O = 100$ oder $H = 1$ bezieht, erhalten natürlich auch die Atomvolumen andere Zahlen, so daß diese eben nur relative sind. Sie drücken also, ebenso wie die Atomgewichtszahlen, nur ein Verhältniß aus und wie hier hat auch dort eine jede Zahl nur in Bezug auf andere eine Bedeutung. Denkt man sich die Atomgewichte auf eine bestimmte Gewichtseinheit bezogen, so erhalten die Zahlen der Atomvolumen eine bestimmtere, aber willkürlichere Bedeutung. Wieht man z. B. den ersteren den Werth von Grammen, so bedeuten die letzteren Cubikcentimeter, da das spec. Gew. bei festen und flüssigen Körpern anzieht, wie viel Gramme ein Cubikcentimeter derselben wiegt. 200 Grm. Schwefel erfüllen somit einen Raum von 101 Cubikcentimeter und 1295 Grm. Blei einen solchen von 114 Cubicent.; mithin verbinden sich 101 Cubicent. des ersteren mit 114 Cubiccentimetern des letzteren zu Schwefelblei.

Kopp hat die Atomvolumen der festen und flüssigen Elemente, deren specifisches Gewicht genauer ermittelt worden ist, in folgender Tabelle zusammengestellt:

Elemente	Atomgewicht	Spec. Gew. Wasser = 1	Atomvolum
Antimon	1613	6,72	240
Arfen	939	5,63	167
Blei	1295	11,39	114
Brom	999	3,19	313
Chlor	443,3	1,33	333
Chrom	335	7,01	47
Eisen	350	7,84	45
Gold	1229	19,34	64
Jod	1586	4,95	320
Iridium	1232	21,80	57
Kadmium	697	8,69	80
Kalium	489	0,86	569

Elemente	Atom- gewicht	Spec. Gew. Wasser = 1	Atom- volum
Kobalt	369	8,51	43
Kupfer	396	8,95	44
Mangan	345	8,01	43
Molybdän	596	8,64	69
Natrium	288	0,97	297
Nickel	369	8,82	42
Palladium	665	11,80	56
Phosphor	400	1,96	204
Platin	1232	21,53	57
Quecksilber	1250	13,60	92
Rhodium	652	11,2	58
Schwefel	200	1,98	101
Selen	495	4,81	102
Silber	1350	10,57	128
Tellur	802	6,24	128
Wismuth	1330	9,80	136
Wolfram	1188	17,22	69
Zink	406	6,92	59
Zinn	725	7,29	95

Hier finden wir die einfache Regelmäßigkeit nicht, wie sie sich in Bezug auf die Atomvolumina der gasförmigen Elemente ergeben hat. Es ist aber daran zu erinnern, daß die Atomvolumina hier keinesweges unter gleichen Umständen ermittelt worden sind; für einige Elemente, wie Quecksilber, Brom, Chlor sind die specifischen Gewichte im flüssigen, für andere im festen Zustande zu Grunde gelegt. Es ist aber bekannt, daß das spec. Gew. durch die Wärme, welche alle Körper ausdehnt, also die Zwischenräume zwischen den Atomen vergrößert, verändert wird und somit auch das Atomvolumen. Richtiger würde man zu Werke gehen, wenn man das spec. Gewicht der Elemente unter Umständen bestimmen wollte, wo die Wärme in gleichem Grade auf sie einwirkt, also bei den festen Körpern bei ihren Schmelztemperaturen und bei den flüssigen dann, wenn ihre Dämpfe eine gleiche Spannkraft besitzen. Erst in neuester Zeit hat Kopp versucht *) die Ausdehnung im festen und flüssigen Zustande bei einer und derselben Substanz zu ermitteln, d. h. die Volumänderung einiger Substanzen beim Erwärmen und Schmelzen zu bestimmen. Allgemeine Resultate können aber erst dann gezogen werden, wenn man erst für eine große Anzahl von Körpern die Ausdehnung im festen im flüssigen Zustande bis zum Schmelzen, der Volumänderung im festen Elemente des Schmelzens, der Volumänderung im flüssigen Zustande genau ermittelt haben wird.

Aber bei alledem lassen sich auch hier gewisse Regelmäßigkeiten nicht

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIII. S. 129.

kennen, worauf zuerst Kopp aufmerksam gemacht hat *). Es lassen sich hiernach verschiedene Gruppen der Elemente bilden:

Chrom	47	Iridium	57	Brom	313	Schwefel	101
Eisen	45	Palladium	56	Chlor	333	Selen	102
Kobalt	43	Platin	57	Jod	320	Silber	128
Kupfer	44	Rhodium	58	Molybdän	69	Tellur	128
Mangan	43	Zink	59	Wolfram	69		
Nickel	42						

Es zeigt sich also, daß chemisch ähnliche Elemente häufig gleiche oder wenigstens annähernd gleiche Atomvolumen besitzen. Äquivalente Gewichtsmengen der einzelnen Glieder dieser verschiedenen Gruppen erfüllen demnach einen gleichen oder nahezu gleichen Raum.

Bei anderen Elementen stehen die Atomvolumen wenigstens in einem einfachen Verhältniß, wie z. B. bei Gold und Silber, Schwefel, Selen und Phosphor, Wolfram und Wismuth, Natrium und Kali, der Platingruppe und Blei, in dem Verhältniß von 1 : 2, bei Arsen und Antimon in dem Verhältniß von 1 : $1\frac{1}{2}$.

Die Atomvolumen der festen und flüssigen Körper kann man nur dann mit denen der gasförmigen vergleichen, wenn man den spec. Gew. dieselbe Einheit zu Grunde legt. Will man diese Vergleichung ausführen, so empfiehlt es sich wohl, das spec. Gew. der festen und flüssigen Körper auf das = 100 gesetzte spec. Gew. des Sauerstoffs zu beziehen. Für einige der wichtigsten Körper hat Rammeisberg diese Vergleichung ausgeführt **). Hieraus ergeben sich für gewisse Elemente, die gasförmig und zugleich fest oder flüssig sind, einige bemerkenswerthe Resultate. Das Atomvolumen von Chlor, Brom und Jod in Gasform ist 437 Mal größer als das in fester oder flüssiger Form. Das Volumen des Chloratoms vergrößert sich also beim Uebergange aus dem flüssigen in den gasförmigen Zustand um das 437fache, während umgekehrt das Chlor, wenn es aus dem gasförmigen Zustande in den flüssigen übergeht, eine 437fache Verdichtung erleidet. Beim Arsenik ist das Verhältniß fast ebenso groß (435), beim Schwefel 230, beim Phosphor 314 und beim Quecksilber 1504. Ein Sauerstoffatom hat ein 1587 Mal so großes Volumen als ein Kupfer-, Mangan-, Eisen-, Nickel- oder Kobaltvolumen.

Als allgemeines Gesetz hat Kopp aufgestellt ***), daß alle isomorphen Körper, also solche, welche bei ähnlicher atomistischer Zusammensetzung eine gleiche Krystallform haben, ein gleiches Atomvolumen besitzen, oder, was dasselbe heißt, daß sich hier die spec. Gew. wie die Atomgewichte verhalten oder daß äquivalente Mengen isomorpher Körper einen gleich großen Raum erfüllen. Als Beispiel mögen hier die kohlen sauren Verbindungen von Baryt, Strontian, Blei und Kalk, die in der Natur als Witherit, Strontianit, Weißbleierz und Arragonit vorkommen, dienen. Sie alle krystallisiren in ähnlichen Gestalten, aber die Krystallwinkel sind nicht genau dieselben und daher auch nicht die Atomvolumen. Folgende Zusammenstellung gewährt uns eine Uebersicht dieser Verhältnisse:

*) Pogg. Ann. Bd. XLVII. S. 133.

**) Lehrbuch der Stöchiometrie. S. 186.

***) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XXXVI. S. 1.

Formel	Atomgew.	Spec. Gew.	Atomvol.	Krystallwinkel		
				a.	b.	c.
BaO CO ²	1233	4,30	287	118° 30'	61° 30'	106° 50'
SrO CO ²	924	3,60	256	117° 16'	62° 44'	108° 12'
PbO CO ²	1671	6,47	258	117° 14'	62° 46'	108° 13'
CaO CO ²	632	2,93	215	116° 16'	63° 44'	108° 27'

Man sieht also, daß da, wo die Krystallwinkel sich am nächsten liegen, wie z. B. beim Strontianit und Weißbleierz, auch die Atomvolumen am besten mit einander übereinstimmen; der größeren Differenz in den Krystallwinkeln entspricht auch eine solche in dem Atomvolumen. Beide stehen also in einer gewissen Uebereinstimmung. Mit dem Atomvolumen ändert sich also auch die Krystallform, sei es, daß ein Bestandtheil der Verbindung durch einen anderen ersetzt wird oder daß man ohne Aenderung der Zusammensetzung, durch die Aenderung der Temperatur eine solche der Atomvolumen herbeiführt. Wie bekannt, hat ja Mitscherlich entdeckt, daß beim Erwärmen der Krystalle eine Aenderung der Winkel eintritt. Jedoch machen hiervon die Krystalle des regulären Systemes eine Ausnahme; hier kann also bei Gleichheit der Form eine Verschiedenheit der Atomvolumen stattfinden.

Der Isomorphismus zweier Körper bedingt zwar eine Uebereinstimmung der Atomvolumen, aber nicht diese jenen. Es können also verschiedene Körper annähernd gleiche Atomvolumen besitzen, aber doch keine gleiche Krystallform. Findet man daher bei Verbindungen, die nicht analog zusammengesetzt sind, eine annähernde Gleichheit der Atomvolumen und eine Uebereinstimmung in der Krystallform, so kann man die letztere hier doch nicht bedingt durch die Uebereinstimmung der Atomvolumen ansehen.

Was in Bezug auf die Atomvolumen für isomorphe Körper gilt, findet natürlich bei den dimorphen Körpern nicht statt. Die letzteren haben in der Modification ein besonderes spec. Gewicht und folglich auch ein besonderes Atomvolumen, so daß also hier äquivalente Gewichtsmengen der verschiedenen Modificationen nicht, wie bei den isomorphen Körpern, gleiche, sondern verschiedene Räume erfüllen.

Boullay, Ammermüller, Kopp und Schröder haben es auch versucht, die Beziehungen zwischen dem spec. Gew. der festen und flüssigen Verbindungen und ihrer chemischen Zusammensetzung, von denen man früher nicht ahnte, daß sie im Zusammenhange mit einander ständen, festzustellen oder mit anderen Worten, man hat versucht zu erforschen, in welchen Beziehungen das Atomvolumen der Verbindung zu den Atomvolumen der einzelnen Bestandtheile steht. Was zunächst die Beziehung zwischen dem spec. Gew. der festen Körper und ihrer chemischen Zusammensetzung betrifft, so ist leicht einzusehen, daß das spec. Gewicht eines Metalloxydes niedriger sein muß, als das des Metalles. Dergleichen sollte man meinen, daß eine höhere Oxydationsstufe, weil sie mehr Sauerstoff enthält, auch specifisch leichter sein werde, als eine niedere desselben Metalles. Hier aber zeigt die Erfahrung oft das Gegentheil. So finden wir z. B. bei Kupferoxydul und Kupferoxyd, Zinnoxydul und Zinnoxyd, Bleioxyd und Bleisuperoxyd, Quecksilberoxydul und Quecksilberoxyd, der flüssigen schwefligen Säure und der wasserfreien Schwefelsäure das spec. Gew. der höheren Oxydationsstufe nicht geringer,

sondern größer als der niederen Verbindung. Hiernach läßt sich folgendes Gesetz aufstellen: wenn ein Körper (A) sich in mehreren Verhältnissen mit einem anderen (B) verbindet, so ändert sich die Dichtigkeit von B in den verschiedenen Verbindungsstufen und zwar in der Art, daß sie proportional ist der Anzahl seiner Atome. Ein Volum Kupferoxyd z. B. enthält doppelt so viel Sauerstoff als ein gleiches Volum Kupferoxydul; die Dichtigkeit des Sauerstoffs in ersterem ist folglich 2 Mal so groß, wie in letzterem. Oder, da sich bei gleicher Menge Kupfer in beiden Oxyden die Anzahl der Sauerstoffatome $= 1 : 2$ verhält, die Dichtigkeit des Sauerstoffs in ihnen aber gleichfalls in dem Verhältniß $1 : 2$ steht, so sind beide proportional.

Dieses Gesetz ist aber nicht allgemein gültig, denn z. B. beim Zinnsulfuret und Zinnsulfid, beim Quecksilberchlorür und Quecksilberchlorid, beim Realgar ($As S^2$) und Auripigment ($As S^3$) und den Oxyden des Mangans besitzen die höheren Verbindungsstufen ein geringeres spec. Gew. als die niederen. Hier verhält sich die Dichtigkeit der Verbindungen umgekehrt wie die Anzahl der einfachen Atome in ihnen. Als allgemeine Regel ist also aufzustellen: wenn sich zwei Körper in mehreren multiplen Verhältnissen mit einander verbinden, so sind die Gewichtsmengen der Bestandtheile in gleichen Volumen dieser Verbindungen, d. h. ihre Dichtigkeiten proportional, entweder geradezu der Anzahl ihrer Atome oder umgekehrt der Anzahl der einfachen Atome in den zusammengesetzten. Oder man kann auch sagen: die spec. Gew. der Verbindungen eines Radikals mit einem elektronegativen Körper verhalten sich zu einander entweder direct wie die Atomgewichte dieser Verbindungen oder wie Multipla oder Submultipla derselben. Beim Kupferoxydul und Kupferoxyd z. B. verhalten sich die spec. Gew. wie das Atomgewicht des ersteren zu dem doppelten Atomgewicht des letzteren.

Was das Verhältniß des Atomvolum der festen und flüssigen chemischen Verbindungen zu den Atomvolumen ihrer Bestandtheile anbelangt, so ist hier an eine Regelmäßigkeit wie bei den gasförmigen Verbindungen nicht zu denken; aber einige Regelmäßigkeiten sind hier doch aufgefunden worden, obgleich die Untersuchungen selbst noch vieles zu wünschen übrig lassen. Bei den festen Körpern ist von Schröder folgende Regelmäßigkeit entdeckt: zieht man von den Atomvolumen analoger Verbindungen die Atomvolumen der entsprechenden Bestandtheile ab, so bleibt für das Atomvolumen des gemeinsamen Bestandtheiles in vielen Fällen ein gleicher Rest. Solche Verbindungen sind z. B. Kupferoxyd (CuO) und Zinkoxyd (ZnO); ihre Atomvolumen sind 76 und 91. Zieht man davon die Atomvolumen der entsprechenden Metalle (für Cu 44 und für Zn 59) ab, so bleibt für den gemeinsamen Bestandtheil (1 At. O) derselbe Rest: $76 - 44 = 32$ und $91 - 59 = 32$. Dieselbe Zahl findet sich beim Bleioxyd, Cadmiumoxyd, Quecksilberoxyd, Zinnoxyd, Antimonoxyd, Eisenoxyd und Wismuthoxyd. Beim Kupferoxydul, Silberoxyd, Quecksilberoxydul und der Molybdänsäure ist diese Zahl oder das Atomvolum des Sauerstoffs doppelt so groß. Auf gleiche Weise hat man das Atomvolum des Chlors in seinen Verbindungen mit Blei, Silber, Baryum und Natrium $= 196$, in denen aber mit Ammonium, Calcium, Kalium, Kupfer, Quecksilber und Strontium $= 245$ gefunden. Für die Verbindungen der schweren Metalle läßt sich annehmen, daß diese hier denselben Raum einnehmen, wie im isolirten Zustande, für die leichten Metalle dagegen, bei denen der Alkalien und Erden, läßt sich dies nicht sagen. 489 Grm. Kalium (1 Atomgewicht).

daß einen Raum von 369 Cubiccent. einnimmt, liefert 1089 Grm. schwefelsaures Kali, die nur einen Raum von 420 Cubiccent. einnehmen. Hier bestimmt man das Atomvolum der Metalle auf die Weise, daß man von dem Volum der Verbindung das Volum der anderen damit verbundenen Elemente, wie man solches bei den Verbindungen der schweren Metalle gefunden hat, abzieht. Der Rest giebt dann das Volum der leichten Metalle. Hiernach ist das Atomvolum von NH_4 in seinen Verbindungen = 218, von K = 234, von Na = 130, von Ba = 143, von Ca = 60, von Sr = 108, von Mg = 40.

Daß diese Untersuchungen, die besonders von Schröder und Kopp angestellt worden sind, so wenig befriedigende Resultate geliefert haben, liegt eben darin begründet, daß eine Vergleichung der Atomvolumen verschiedener Körper eigentlich nur für solche Temperaturen zulässig ist, bei welchen die Wärme eine gleiche Wirkung auf die verschiedenen Körper ausübt, also hier bei den Schmelztemperaturen. Zudem sind bei diesen Untersuchungen die älteren Bestimmungen der Atomgewichte und specifischen Gewichte zu Grunde gelegt worden, die selbst einer Berichtigung bedürfen. So viel aber geht aus diesen Untersuchungen hervor, daß die Uebereinstimmungen, die sich hier ergeben haben, nicht zufällig sein können, wenn schon noch zahlreiche Abweichungen vorkommen. Uebrigens haben hierdurch die Bestimmungen des spec. Gew. der festen und flüssigen Körper einen weit größeren Werth erlangt als sie früher besaßen, und dann scheint die Lehre von den Atomvolumen von besonderer Wichtigkeit für die Isomorphie zu sein.

Weit geringere Schwierigkeiten stehen der Bestimmung des Atomvolumen bei den Flüssigkeiten entgegen. Hier sind die Temperaturen, welche einen Vergleich zulässig machen, die sogenannten correspondirenden Temperaturen, wahrscheinlich diejenigen, bei denen die Dämpfe der Körper gleiche Spannkraft besitzen, also z. B. die Siedepunkte. Zu dieser Annahme glaubten sich Kopp und Schröder durch Versuche berechtigt. So hat z. B. der Alkohol, $\text{C}^4 \text{H}^6 \text{O}^2$, welcher die Elemente von Aethyloxyd $\text{C}^4 \text{H}^8 \text{O}$ und

Wasser H O

enthält, bei seinem Siedepunkt ein Atomvolumen, welches der Summe der Atomvolumen von Aether und Wasser unter gleichen Umständen, also bei deren Siedepunkten gleich ist. Das Atomvolum des Alkohols für den Siedepunkt ist = 777, das des Aethers unter gleichen Umständen = 664 und das des Wassers = 117. Der Unterschied ist demnach ein sehr geringer (777 statt 781). Dasselbe findet auch bei niederen Temperaturen statt, sofern nur die Dampfelasticität gleich ist. Eine gleiche Spannkraft besitzen z. B. die Dämpfe des Alkohols bei 57° , die des Aethers bei 16° , die des Wassers bei 77° . Das Atomvolum des Alkohols ist bei der angegebenen Temperatur = 762; das des Aethers = 647 und das des Wassers = 115. Die Summe der Atomvolumen der beiden letzteren (der Bestandtheile) ist also unter den angeführten Umständen gleich dem Atomvolum des ersteren (der Verbindung), denn $647 + 115 = 762$. Hieraus erhellt, daß, wenn die Summe der Formeln zweier Verbindungen die Formel einer dritten giebt, auch die Summe der Atomvolumen jener beiden das Atomvolum der dritten geben wird.

Ferner hat sich bei einer großen Zahl von flüssigen Verbindungen herausgestellt *), daß einer gleichen Differenz in der chemischen Zusammensetzung eine

*) Pogg. Ann. Bd. LXXII. S. 1 u. 223.

gleiche Differenz der Atomvolumen und der einfachen Differenz in demselben Complex von Elementen auch die einfache Differenz in der Zusammensetzung entspricht, wie dies die nachfolgende Zusammenstellung andeutet

Holzgeist	$C^2 H^4 O^2 = C^2 H^4 O^2$	529 = 529.
Alkohol	$C^4 H^6 O^2 = C^2 H^4 O^2 + C^2 H^2$	777 = 529 + 248.
Amyloryd- hydrat	$C^{10} H^{12} O^2 = C^2 H^4 O^2 + 4. C^2 H^2$	1541 = 529 + 4. 253.
Ameisensaures Methyloryd	$C^4 H^4 O^4 = C^4 H^4 O^4$	789 = 789.
Ameisensaures Aethyloryd	$C^6 H^6 O^4 = C^4 H^4 O^4 + C^2 H^2$	1059 = 789 + 270.
Eisigsäures Methyloryd	$C^6 H^6 O^4 = C^4 H^4 O^4 + C^2 H^2$	1048 = 789 + 259.
Eisigsäures Aethyloryd	$C^8 H^8 O^4 = C^4 H^4 O^4 + 2. C^2 H^2$	1343 = 789 + 2. 277.
Buttersäures Methyloryd	$C^{10} H^{10} O^4 = C^4 H^4 O^4 + 3. C^2 H^2$	1578 = 789 + 3. 263.
Buttersäures Aethyloryd	$C^{12} H^{12} O^4 = C^4 H^4 O^4 + 4. C^2 H^2$	1869 = 789 + 4. 270.
Ameisensäure	$C^2 H^2 O^4 = C^2 H^2 O^4$	523 = 523.
Eisigsäure	$C^4 H^4 O^4 = C^2 H^2 O^4 + C^2 H^2$	793 = 523 + 270.
Buttersäure	$C^6 H^6 O^4 = C^2 H^2 O^4 + 3. C^2 H^2$	1334 = 523 + 3. 270.

Kopp und Schröder haben auch versucht, die Atomvolumen zu bestimmen, mit welchen die in organischen Verbindungen am häufigsten vorkommenden Elemente (C, H, O) in denselben bei den Siedepunkten der letzteren enthalten sind. Die Ansichten Beider weichen hier aber von einander ab. Nach Kopp soll das Atomvolumen von H und O gleich groß sein; es ergibt sich aus dem Atomvolumen des Wassers zu 58,5, und hiernach berechnet sich das Atomvolumen des Kohlenstoffs z. B. aus dem Aether auf 78. Das Atomvolumen einer Verbindung $C^x H^y O^z$ wäre hiernach, für die Siedetemperatur $= x \cdot 78 + y \cdot 58,5 + z \cdot 58,5$. Schröder geht indeß von der Ansicht aus, daß die Atomvolumen von C, H und O bei correspondirenden Temperaturen gleich groß seien. Hiernach wäre die Formel für die Berechnung des Atomvolumens einer Verbindung $C^x H^y O^z$ bei ihrem Siedepunkt $(x + y + z) \times 64,8$. Für die Wahrscheinlichkeit dieser Annahme ist von vorneherein kein Grund vorhanden, indessen stehen mehrere genauer untersuchte Flüssigkeiten mit dieser Annahme im Einklang, aber gerade bei der am genauesten untersuchten Flüssigkeit, dem Wasser ist sie nicht zulässig, so wie auch andere beobachtete Thatsachen dagegen sprechen.

Aus seinen neueren Untersuchungen zieht Kopp in Bezug auf die flüssigen Verbindungen folgende Schlüsse, bei denen die Äquivalentgewichte $H = 1$ zu Grunde liegen *). Bei einer großen Zahl von Vergleichen ähnlicher flüssiger Verbindungen bestätigt sich, daß die Differenzen der Atomvolumen den Differenzen der Formeln proportionirt sind und daß namentlich die Atomvolumen je zweier in ihren Formeln um $x. C^2 H^2$ verschiedenen Flüssigkeiten nahezu um $x. 22$ ver-

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCV. S. 121.

schieden sind. Diese Behauptung suchte Schröder in seiner Schrift über die Molecularvolumen der chemischen Verbindungen 1843 zu widerlegen. Nach ihm sollte das Gesetzmäßige in den Atomvolumen der flüssigen Verbindungen darin bestehen, daß dieselben bei correspondirenden Temperaturen gleich seien oder in einfachen Verhältnissen zu einander stehen. Kopp stellte als Beleg für seine Behauptung eine Anzahl von Verbindungen mit der am häufigsten vorkommenden Zusammenfügungsdifferenz $\times C^2 H^2$, so wie deren Atomvolumen, wie sie sich aus den Beobachtungen ableiten, zusammen.

Kohlenwasserstoffe.

Atomvolum.

$C^{12} H^6 = C^{12} H^6$	96,0 bis 99,7 = 97,65.
$C^{20} H^{14} = C^{12} H^6 + 4. C^2 H^2$	183,5 bis 185,2 = 97,65 + 4. 21,67.

Alkohole.

$C^2 H^4 O^2 = C^2 H^4 O^2$	41,9 bis 42,2 = 42,05.
$C^4 H^6 O^2 = C^2 H^4 O^2 + C^2 H^2$	61,8 bis 62,5 = 42,05 + 20,10.
$C^{10} H^{12} O^2 = C^2 H^4 O^2 + 4. C^2 H^2$	123,6 bis 124,4 = 42,05 + 4. 20,49.
$C^{12} H^6 O^2 = C^{12} H^6 O^2$	103,6 bis 104,0 = 103,8.
$C^{14} H^8 O^2 = C^{12} H^6 O^2 + C^2 H^2$	123,7 = 103,8 + 19,9.

Aetherarten.

$C^4 H^4 O^4 = C^4 H^4 O^4$	63,4 = 63,4.
$C^6 H^6 O^4 = C^4 H^4 O^4 + C^2 H^2$	83,7 bis 85,8 = 63,4 + 21,35.
$C^8 H^8 O^4 = C^4 H^4 O^4 + 2. C^2 H^2$	107,4 bis 107,8 = 63,4 + 2. 22,1.
$C^{10} H^{10} O^4 = C^4 H^4 O^4 + 3. C^2 H^2$	125,7 bis 127,3 = 63,4 + 3. 21.
$C^{12} H^{12} O^4 = C^4 H^4 O^4 + 4. C^2 H^2$	148,7 bis 150,3 = 63,4 + 4. 21,5.
$C^{14} H^{14} O^4 = C^4 H^4 O^4 + 5. C^2 H^2$	173,3 bis 175,5 = 63,4 + 5. 22,2.
$C^{20} H^{20} O^4 = C^4 H^4 O^4 + 8. C^2 H^2$	244,1 = 63,4 + 8. 22,5.

Säuren.

$C^2 H^2 O^4 = C^2 H^2 O^4$	40,9 bis 41,8 = 41,35.
$C^4 H^4 O^4 = C^2 H^2 O^4 + C^2 H^2$	63,5 bis 63,8 = 41,35 + 22,3.
$C^6 H^6 O^4 = C^2 H^2 O^4 + 2. C^2 H^2$	85,4 = 41,35 + 2. 22.
$C^8 H^8 O^4 = C^2 H^2 O^4 + 3. C^2 H^2$	106,4 bis 107,8 = 41,35 + 3. 21,9.
$C^{10} H^{10} O^4 = C^2 H^2 O^4 + 4. C^2 H^2$	130,2 bis 131,2 = 41,35 + 4. 22,3.

Aether der Benzoesäure.

$C^{16} H^8 O^4 = C^{16} H^8 O^4$	148,5 bis 150,3 = 149,4.
$C^{18} H^{10} O^4 = C^{16} H^8 O^4 + C^2 H^2$	172,4 bis 174,8 = 149,4 + 24,2.
$C^{24} H^{16} O^4 = C^{16} H^8 O^4 + 4. C^2 H^2$	247,7 = 149,4 + 4. 24,5.

Aether der Oxalsäure und
Bernsteinsäure.

$C^8 H^6 O^8 = C^8 H^6 O^8$	116,3 = 116,3.
$C^{12} H^{10} O^8 = C^8 H^6 O^8 + 2. C^2 H^2$	166,8 bis 167,1 = 116,3 + 2. 25,3.
$C^{16} H^{14} O^8 = C^8 H^6 O^8 + 4. C^2 H^2$	209,0 = 116,3 + 4. 23,2.

Aldehyde und Aceton.

$C^4 H^4 O^2 = C^4 H^4 O^2$	56,0 bis 56,9 = 56,45.
$C^6 H^6 O^2 = C^4 H^4 O^2 + C^2 H^2$	77,3 bis 77,6 = 56,45 + 21.
$C^{10} H^{10} O^2 = C^4 H^4 O^2 + 3. C^2 H^2$	117,3 bis 120,3 = 56,45 + 3. 20,78.
$C^{14} H^6 O^2 = C^{14} H^6 O^2$	118,4 = 118,4.
$C^{20} H^{12} O^2 = C^{14} H^6 O^2 + 3. C^2 H^2$	189,2 = 118,4 + 3. 23,5.

Desgleichen bestätigt sich, daß isomere Flüssigkeiten auch gleich große Atomvolumen haben. Bei Flüssigkeiten, von denen eine Sauerstoff an der Stelle einer äquivalenten Menge Wasserstoff in der anderen enthält, bleibt das Atomvolumen bei dieser Vertretung von Wasserstoff durch Sauerstoff nahezu dasselbe, aber es bleibt nicht, wie früher angenommen wurde, ganz unverändert. Dagegen aber kann der Kohlenstoff den Wasserstoff in flüssigen Verbindungen vertreten, ohne daß gleichzeitig eine Aenderung des Volums erfolgt.

Eine ganz allgemeine Ableitung des Atomvolumens einer flüssigen Verbindung aus der empirischen Formel allein, ist nicht zulässig. Eine Ableitung aus der rationellen Formel wird dadurch wieder unsicher, daß die rationellen Constitutionen der chemischen Verbindungen selbst zumeist noch unsichere Hypothesen sind. Kopp steht in dieser Beziehung die Gerhardt'sche Classification als die zweckentsprechendste an.

Die bereits angeführten Beobachtungen in Bezug auf die Raumerfüllung bei Vertretung des Sauerstoffs durch Wasserstoff und Kohlenstoff haben Kopp dahin geführt, den Atomvolumen dieser drei Elemente jetzt andere Zahlen zu geben wie früher. Die Atomvolumen der flüssigen Verbindungen, welche sich von Wasserstoff $\begin{smallmatrix} \text{H} \\ \text{H} \end{smallmatrix}$ als Typus ableiten, stimmen mit den aus den Beobachtungen folgenden Werthen genau überein, wenn man das Atomvolumen von C = 5,5, das von H gleichfalls = 5,5 und das von O = 6,1 setzt. Diese Annahmen haben auch in Bezug auf das Radical Oeltung bei den flüssigen Verbindungen, die sich von Wasser $\begin{smallmatrix} \text{H} \\ \text{H} \end{smallmatrix}$ O² als Typus ableiten; für den Sauerstoff an der Stelle, wo er im Wasser steht, muß aber das Atomvolumen = 3,9 gesetzt werden. Dieselben Annahmen gelten auch für Verbindungen, welche sich auf mehrere Äquiv. Wasser als Typus beziehen, wie z. B. die Verbindungen der mehrbasischen Säuren.

Der Schwefel tritt in seinen Verbindungen in verschiedener Weise auf:

1) den Sauerstoff in dem Typus $\begin{smallmatrix} \text{H} \\ \text{H} \end{smallmatrix}$ O² ersetzend, wie im Mercaptan, Schwefeläthyl etc., 2) den Kohlenstoff innerhalb eines Radicals ersetzend, wie in der schwefligen Säure im Vergleich zur Kohlensäure; oder 3) den Sauerstoff innerhalb eines Radicals ersetzend, so ein Theil des Schwefels im Schwefelkohlenstoff, wenn man diesen mit der Kohlensäure vergleicht. Für die beiden ersten Fälle ist das Atomvolumen des S = 11,3, im letzteren aber größer: = 14,3.

In den Chlorverbindungen besitzen C und H den schon angegebenen Werth, das Atomvolumen des Cl ist = 22,8. Bei den Brom- und Jodverbindungen ist dem J der Werth von 37,5 und dem Brom der von 27,5, den es auch im isomeren Zustande bei seinem Siedepunkte beizulegen.

Kopp hat neuerdings seine Untersuchungen auch auf die Atomvolumen der stickstoffhaltigen Verbindungen ausgedehnt*). Das Atomvolumen des N setzt er in den flüchtigen Basen = 2,3, das von C² N in den Cyanverbindungen = 28, das von NO⁴ in den Nitroverbindungen = 33. Innerhalb einer jeden Gruppe dieser Verbindungen finden die besprochenen Regelmäßigkeiten ebenso statt.

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCVII. S. 374.

In Bezug auf die gasförmigen Verbindungen bietet die Volumtheorie mancherlei Vortheile bei der Beurtheilung ihrer Zusammensetzung und einer ihrer Hauptvorzüge liegt eben darin, daß man mit ihrer Hülfe die Atomgewichte der einfachen Körper controliren und die atomistische Zusammensetzung vieler Verbindungen ermitteln kann.

Bekanntlich ist das spec. Gewicht einer gasförmigen Verbindung gleich der Summe der spec. Gew. ihrer Bestandtheile. Kennt man daher das spec. Gew. einer Verbindung und ihre Zusammensetzung dem absoluten Gewichte nach, so kann man leicht das Volumverhältniß, in welchem die Bestandtheile vereinigt sind, berechnen. So ist z. B. das spec. Gew. des Aldehyddampfes ($C^4 H^4 O^2$) = 1,532 gefunden. 100 G.-Th. Aldehyd enthalten 55,024 C, 8,983 H und 35,993 O. Will man das Volumverhältniß der Bestandtheile berechnen, so muß man aufsuchen, wie viel C, H und O in 1,532 Aldehyd, d. h. in 1 Volumen enthalten sind.

Man setzt daher an:

$$\begin{aligned} 100 \text{ Aldehyd} : 55,024 \text{ C} &= 1,532 \text{ Aldehyd} : x = 0,84279 \text{ Kohlenstoffdampf} \\ 100 \text{ Aldehyd} : 8,983 \text{ H} &= 1,532 \text{ Aldehyd} : x = 0,13760 \text{ Wasserstoffgas und} \\ 100 \text{ Aldehyd} : 35,993 \text{ O} &= 1,532 \text{ Aldehyd} : x = 0,55130 \text{ Sauerstoffgas} \\ &1,53169 \text{ Aldehyd.} \end{aligned}$$

Dividirt man nun die gefundenen Zahlen mit den Gewichten, die 1 Volum Kohlenstoff (0,84279), 1 Volum Wasserstoff (0,0688) und 1 Volum Sauerstoff (1,1026) zukommen, so ergibt sich, daß 1 Volum Aldehyddampf enthält

$$\begin{aligned} &1 \text{ Volum Kohlenstoffdampf,} \\ &2 \quad \cdot \quad \text{Wasserstoffgas und} \\ &1/2 \quad \cdot \quad \text{Sauerstoffgas.} \end{aligned}$$

Wäre die Analyse oder die Bestimmung des spec. Gew. des Dampfes nicht richtig, so würden wir bei der Rechnung Zahlen erhalten, die mit den einfachen Verbindungsverhältnissen der Gase nicht im Einklang stehen, d. h. die sich nicht in geraden Zahlen ausdrücken lassen, und daraus würde sich ergeben, daß eben bei den erwähnten Bestimmungen Fehler begangen seien. Man erkennt hieraus, welchen hohen Werth die Kenntniß des spec. Gew. einer Verbindung für die Beurtheilung der Richtigkeit ihrer Zusammensetzung besitzt, besonders bei denjenigen Körpern, deren Atomgewicht unbekannt ist.

Die atomistische Zusammensetzung des Aldehyds ist $C^4 H^8 O^2$. Dieser Formel entsprechen 4 Vol. Kohlenstoffgas, 8 Vol. Wasserstoffgas und 2 Vol. Sauerstoffgas. Es fragt sich nun, ist ein Atom Aldehyd gleich einem Volum oder in welchem Verhältniß stehen beide zu einander. Es wiegen

$$\begin{aligned} 4 \text{ Vol. Kohlenstoffgas} &= 3,37116 = 4 \cdot 0,84279 \\ 8 \quad \cdot \quad \text{Wasserstoffgas} &= 0,55040 = 8 \cdot 0,06880 \\ 2 \quad \cdot \quad \text{Sauerstoffgas} &= 2,20520 = 2 \cdot 1,10260 \\ &6,12676 \end{aligned}$$

Wäre ein Atom Aldehyd = 1 Volum in Gasform, so müßte das spec. Gewicht des Aldehyddampfes = 6,12676 sein. Durch den Versuch aber ist es zu 1,532 gefunden worden. Dividiren wir die erstere Zahl durch die letztere, so erhalten wir als Quotient die Zahl 4, $\left(\frac{6,12676}{1,532} = 3,999\right)$. Hiernach ist

also ein Atom Aldehyd = 4 Vol. und bei seiner Bildung sind 14 Vol. zu 4 Vol. condensirt.

Man kann bei diesen Berechnungen auch dem spec. Gew. des Sauerstoffs zum Grunde legen und dasselbe = 100 setzen. Die Reduction vollzieht man sehr leicht dadurch, daß man das gewöhnliche spec. Gew. durch 1,1026 (das spec. Gew. des Sauerstoffs) dividirt, und die dadurch erhaltene Zahl mit 100 multiplicirt.

Für das spec. Gewicht des Aldehyddampfes erhalten wir somit $\frac{1,532}{1,1026} \cdot 100$

= 138,94. Nun wiegt ein Atom Aldehyd 550,40 (4 Atom Kohlenstoff = 300,48, 8 At. Wasserstoff = 49,92, 2 At. Sauerstoff = 200). Dividirt man das Atomgewicht durch das spec. Gew., so erhält man das Atomvolum des

Aldehyddampfes: $\frac{550,40}{138,94} = 3,96$ oder 4. Das Atomvolum giebt nun direct

die Anzahl der Volume, die 1 Atom der gasförmigen Verbindung entsprechen.

Ferner kann man die Zusammensetzung einer Verbindung zweier Körper berechnen, wenn man das spec. Gew. derselben kennt und das spec. Gew. und das Volum von einem Bestandtheil. Wir wissen, daß 1 Vol. Schwefelwasserstoffgas ein Volum Wasserstoffgas enthält. Zieht man von dem Gewicht eines Volumens Schwefelwasserstoffgas (seinem spec. Gew.) das Gewicht eines Volumens Wasserstoffgas (sein spec. Gew.) ab, so hat man den Schwefelgehalt des Gases. Also

$$1 \text{ Vol. Schwefelwasserstoffgas} = 1,177$$

$$1 \text{ " Wasserstoffgas} = 0,069 \text{ folglich}$$

$$\text{Schwefel} = 1,108.$$

Demnach bestehen 1,177 Schwefelwasserstoffgas aus 0,069 Wasserstoffgas und 1,108 Schwefel. Das Volum des ersteren ist bekannt, wie viel wird nun das Volum des Schwefels betragen. Nach den bekannten Verhältnissen, in denen sich die Gase mit einander verbinden, muß diese Menge Schwefel entweder das Gewicht von 1 Volum oder ein Multiplum oder Submultiplum von diesem Volum sein. 1 Volum Schwefel wiegt 6,648 (sein spec. Gew.); dividirt man diese Zahl durch die in einem Volum Schwefelwasserstoffgas enthaltene Schwefelmenge 6,648

$\frac{6,648}{1,108}$, so erhält man die Zahl 6; folglich ist die Schwefelmenge = $\frac{1}{6}$ Volum.

In einem Volum Schwefelwasserstoff sind demnach enthalten 1 Vol. Wasserstoff und $\frac{1}{6}$ Vol. Schwefel oder in 6 Vol.

$$6 \text{ Vol. Wasserstoffgas} = 6 \cdot 0,069 = 0,414$$

$$1 \text{ " Schwefelgas} = 6,648$$

$$6 \text{ Vol. Schwefelwasserstoffgas wiegen } 7,062, \text{ folglich } 1 \text{ Vol. } \frac{7,062}{6} = 1,177.$$

Aus dem Volum der Bestandtheile und dem der Verbindung kann man das spec. Gew. der letzteren berechnen.

$$1 \text{ Vol. Chlorgas wiegt} = 2,44033 \text{ und}$$

$$1 \text{ " Wasserstoffgas wiegt} = 0,06880. \text{ Beide geben}$$

$$2 \text{ Vol. Chlornwasserstoff, die zusammen wiegen } 2,50913.$$

Ein Volum wiegt mithin $\frac{2,50913}{2} = 1,25456 =$ dem spec. Gew. des

Chlorwasserstoffäuregases.

2 Vol. Wasserstoffgas und 1 Volum Sauerstoffgas geben nur 2 Vol. Wasserdampf, mithin sind in einem Vol. enthalten

1 Vol. Wasserstoffgas = 0,06880

$\frac{1}{2}$ " Sauerstoffgas = 0,55130, so daß

1 Vol. Wasserdampf wiegt 0,62010 und das ist auch sein spec. Gew.

Aus dem spec. Gewicht der Gase und dem Volumverhältniß, in dem sie sich vereinigen, kann man die Zusammensetzung der Verbindung berechnen.

Aus dem Vorstehenden erhellt, daß 2,50913 Chlorwasserstoffäure 2,44033 Chlor und 0,06880 Wasserstoff enthalten, mithin besteht die Chlorwasserstoffäure in 100 aus 97,26 Chlor und 2,74 Wasserstoff. Oder 0,62010 Wasser besteht aus 0,06880 Wasserstoff und 0,55130 Sauerstoff, mithin bestehen 100 Gewichttheile Wasser aus 11,09 Wasserstoff und 88,91 Sauerstoff.

In Folge der einfachen Beziehung der specifischen Gewichte und der Volumatomgewichte kann man das spec. Gewicht eines Gases aus seinem Äquivalentgewicht und umgekehrt dieses wieder aus jenem berechnen. Es wäre z. B. das spec. Gew. für das Fluor zu berechnen; sein Atomgewicht ist = 233,8. Aus der Analogie des Fluor mit dem Chlor, Brom und Jod kann man schließen, daß das Äquivalentatom aus 2 Volumenatomen gebildet wird; demnach wäre

1 Volumenatom Fluor $\frac{233,8}{2} = 116,9$. Um das specifische Gewicht zu finden,

setzt man an:

Äq. des	Atom des	Spec. Gew. des	Spec. Gew. des
Sauerstoffs	Fluors	Sauerst.	Fluor
100	: 116,9	= 1,1057	: x = 1,2925

Man erhält das spec. Gew. eines gasförmigen Körpers, wenn man das Äquivalentgewicht desselben mit 1,1057 (dem spec. Gew. des Sauerstoffs) multiplicirt und das Product durch 100 (das Volumenatom oder Äquivalent des Sauerstoffs) dividirt. So ist z. B. das spec. Gewicht des Schwefeldampfes $100 : 200 = 1,1057 : x$. $x = 2,2114 = \frac{1}{3}$ Vol. 1 Vol. = $2,2114 \cdot 3 = 6,6342$ Dichtigkeit des Schwefeldampfes.

Literaturergänzung: R o y p, über die Vorausbestimmung des spec. Gewichts von chemischen Verbindungen, Pogg. Ann. Bd. XLVII. S. 133. Ueber die Volumtheorie, Bd. LII. S. 243, Bd. LIII. S. 446, Bd. LIV. S. 202, Bd. LVI. S. 371, Bd. LXIII. S. 283 u. Bd. LXX. S. 506. Ueber Atomvolum, Isomorphismus und spec. Gewicht, Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. XXXVI. S. 1. Ueber die Vorausbestimmung einiger physikalischer Eigenschaften bei mehreren Reihen organischer Verbindungen, Bd. XLI. S. 79 u. 169, Bd. L. S. 71, Bd. XCII. S. 1. Ueber die Abhängigkeit des Siedepunkts und des Atomvolums flüssiger Verbindungen von der chemischen Zusammensetzung, Bd. XCIV. S. 1, Bd. XCV. S. 121 u. 307, Bd. XCVIII. S. 367. Ueber die spec. Volume der Flüssigkeiten, welche nur Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff enthalten, Bd. XCVI. S. 153. Ueber die spec. Volume der schwefel-, chlor-, brom- und jodhaltigen Verbindungen,

Vd. XCVI. S. 303. Ueber die specifischen Volume flüssiger Verbindungen im Allgemeinen, **Vd. XCVI. S. 319.** Ueber die spec. Volume der stickstoffhaltigen Verbindungen, **Vd. XCVII. S. 374** und **Vd. C. S. 19.** — Ammermüller, über eine Gesezmäßigkeit im spec. Gew., welche bei Verbindungen einfacher Körper unter einander nach multiplen Verhältnissen stattfindet. **Pogg. Ann. Vd. XLIX. S. 341** und **Vd. L. S. 406.** — Mitscherlich, über den Zusammenhang der Krystallform mit der chemischen Zusammensetzung. **Pogg. Ann. Vd. XLIX. S. 401.** **Journ. f. prakt. Chem. Vd. XIX. S. 449.** — Boullay, dissertation sur le volume des atoms et sur les modificat., qu'il subit dans les combinaisons chimiques. **Journ. de Pharm. T. XVI. p. 398.** — Schröder, allgemeine Begründung der Volumtheorie. **Pogg. Ann. Vd. L. S. 553.** Bemerkungen dazu von Löwig, **Journ. für prakt. Chem. Vd. XXII. S. 244.** Schröder's Rechtfertigung. **ebenda Vd. XXIII. S. 436.** Schröder, Beitrag zur Volumtheorie. **Pogg. Ann. Vd. LI. S. 269** und **282.** — Persoz, introduction dans l'étude de la chimie moléculaire. Paris 1839. — Berzelius, Bemerkungen dazu. **Jahrb. XVI. S. 65**, **Vd. XVII. S. 77**, **Vd. XVIII. S. 89**, **Vd. XX. S. 14.** — Karsten, über das spec. Gew. chemischer Verbindungen. **Schweigger's Journ. Vd. LXV. S. 413.** — Herapath, **Phil. Mag. Vol. LXIV. p. 321.** — Miller, **Quart. Journ. chem. Soc. Vol. I. p. 363.** — Pierre, **Annal. de chim. et de phys. [3] T. XV. p. 325**, **T. XX. p. 5**, **T. XXI. p. 336**, **T. XXXI. p. 118**, **T. XXXIII. p. 199.** Thèse soutenue à la Faculté des Sciences de Paris. **Annuaire de Millon et Reiset 1816.** — Avogadro, Beziehungen zwischen Zusammensetzung und spec. Gew. **Archiv. des scienc. phys. et natur. T. XIII. p. 17**, **T. XVII. p. 304.** **Annal. de chim. et de phys. [3] T. XXIX. p. 248.** — Dumas und Hunt, über das Atomvolum einiger Mineralien. **Journ. f. prakt. Chem. Vd. LIV. S. 115.** **Silliman americ. Journ. [2] Vol. XV. March 1853.** **Chemisches Centralbl. 1853. S. 833.**
B. B.

Vorrüden der Nachtgleichen, f. Nachtgleichen.

Vulkan wird nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauche mit „Feuerberg“ oder „feuerspeiender Berg“ für synonym gehalten, d. h. mit den Bergen, welche durch offene Schlünde fortwährend oder wenigstens zeitweil aus dem Erdrinnern Aussen ausströmen oder ausströmen lassen. Diese Auffassung würde für die jetzige Periode unseres Planeten allerdings ausreichend sein, nicht jedoch für frühere Perioden, in welchen die das feurig-flüssige Erdrinnere umschließende feste Rinde noch nicht die Stärke und Festigkeit erlangt hatte, welche sie jetzt zeigt. In diesen fernen Zeiten waren es nicht einzelne Berge, welche eine Verbindung des Erdrinnern mit der Atmosphäre vermittelten, sondern meistens große, wohl Tausende von Quadratmeilen umfassende Gebiete, wie wir dies in Central-Amerika oder im nördlichen Theile des mexicanischen Hochlandes sehen. Da diese vulkanischen Erscheinungen der früheren Perioden, welche die Erde durchlaufen hat, im Art. Berg, **Vd. I. S. 763** und Art. Geologie, **Vd. III. S. 508** bereits ihre Erledigung gefunden haben, so fassen wir hier nur noch die Vulkane der Jetztzeit ins Auge, deren Charakteristik wir Eingangß kurz gegeben haben.

Der Vulkan entsteht durch die im Erdrinnern verborgenen, nach Aussen hin wirkenden Kräfte und verdankt seine Entstehung zunächst einer Erhebung
VI,

des Bodens. A. v. Humboldt sagt *): „Der Widerstand, welchen die in allzu-großer Menge gegen die Oberfläche gedrängten feuerflüssigen Massen in dem Ausbruch-Kanal finden, veranlaßt die Vermehrung der hebenden Kraft. / Es entsteht eine „blasenartige Austreibung des Bodens“, wie dies durch die regelmäßige, nach außen gefehrte Abfalls-Richtung der gehobenen Bodenschichten bezeichnet wird. Eine minenartige Explosion, die Sprengung des mittleren und höchsten Theils der convergen Austreibung des Bodens, erzeugt bald allein das, was L. v. Buch einen Erhebungs-Krater genannt hat: d. h. eine kraterförmige, runde oder ovale Einsenkung, von einem Erhebungs-Circus, einer ringförmigen, meist stellenweise eingerissenen Umwallung, begrenzt; bald in der Mitte des Erhebungs-Kraters zugleich einen dom- oder kegelförmigen Berg. Der letztere ist dann meist an seinem Gipfel geöffnet; und auf dem Boden dieser Oeffnung (des Kraters des permanenten Vulkans) erheben sich vergängliche Auswuchs- und Schlackenbügel, kleine und große Eruptionss-Kegel, welche bisweilen die Kraterränder des Erhebungs-Kegels weit überragen. Nicht immer haben sich aber die Zeugen des ersten Ausbruchs, die alten Gerüste, erhalten.“

Die vulkanische Thätigkeit hat hiernach durch Erhebung des Bodens formgebend und gestaltend gewirkt, nicht aber, wie man früher allgemein und ausschließend glaubte: aufbauend durch Aufhäufung von Schlacken und sich überlagernde neue Lavaschichten. Wäre letzteres der Fall, so könnten die Bodenschichten nicht die angegebene Abfallsrichtung zeigen.

Den eben nach seiner Entstehung geschilderten, meistens in der Gestalt eines abgeknittenen Kegels auftretenden Berg nennt man einen vulkanischen Kegel; die innere, umgekehrte kegelförmige Höhlung Krater und die mehr oder weniger kreisförmige Linie, welche die Grenze des inneren und äußeren Abhanges bildet, Kraterrand. Bei den thätigen Vulkanen entsteigen dem Krater zeitweise Rauch, Asche und die verschiedenartigsten Auswurfsmassen; die Laven — die geschmolzenen Massen, welche dem Feuerberge entströmen — fließen seltener über den Kraterrand, als durch die Spalten in den Seitenwänden des Kegels.

Neben dem Erhebungs-Krater nimmt L. v. Buch **) noch einen Auswurf-Krater an. Vulkane, welche bloß aus einem Kegel, wie er vorher geschildert wurde, bestehen, sind das Ergebnis einer einmaligen gewaltsamen Erhebung des Bodens, auf welche dann ein Stillstand erfolgte. Die meisten Vulkane jedoch, und namentlich fast alle noch thätigen, haben derartige Austreibungen von Zeit zu Zeit wiederholt. Mit diesen späteren Ausbrüchen konnten nun Auswurfstoffe aus der Tiefe emporgetrieben werden, und diese Stoffe mußten sich um den schon vorhandenen Erhebungs-Krater kegelförmig anhäufen. Der Erhebungs-Krater erhielt hierdurch eine Umgestaltung und in ihm bildete sich der Auswurf-Krater, den man gewöhnlich schlechtthin Krater nennt. Die Vertiefung des Erhebungs-Kraters nennt man auf den canarischen Inseln Cal-

*) Kosmos, Bd. IV. S. 271.

**) Abhandl. der Akad. der Wissensch. zu Berlin auf das Jahr 1818 u. 1819. S. 51; dessen physikalische Beschreibung der canarischen Inseln 1825. S. 213. 262. 284. 313. 323 u. 341.

dera, die radienförmigen Einschnitte *Parancos*; Zeichnungen, welche in der Wissenschaft Eingang gefunden haben.

Die Ansicht, welche L. v. Buch zuerst aufstellte, haben namentlich Alexander v. Humboldt, Elie de Beaumont und Luchano zu der ihrigen gemacht und vertheidigt, andere Naturforscher, namentlich Lyell, Cordier, Br. Hoffmann, Constant Brévoix sind als Gegner aufgetreten. Burmeister *), welcher den Letzteren beistimmt, faßt die Einswürfe kurz in Folgendem zusammen. „Die Gegner behaupten, daß zwischen den Gesteinen des Erhebungs- und Auswurfkegels kein genügender Unterschied staunde, sondern daß sie sich ebenso zu einander verhalten, wie die Auswurfstoffe noch thätiger Vulkane aus verschiedenen Zeiten; sei also der eine Kegel aufgeschüttet, so sei es auch der andere. Dann aber wenden sie mit größerem Nachdrucke die Form der *Parancos* ein, welche, wenn sie durch Verftung gehobener Schichten entstanden, natürlich oben in der Nähe des Kraterrandes am breitesten sein und gegen den Fuß des Kegels schmal auslaufen müssen, während sie doch alle gerade umgekehrt oben schmaler, unten breiter sind, und von den vielen in der Regel nur einer bis in die wirkliche Caldera reicht, die anderen aber in der Nähe des Kraterrandes enden. Die Gegner des Erhebungskegels suchen darzutun, daß diese *Parancos* spätere Auswaschungen abfließender Gewässer seien, und geben höchstens von tem bis in die Caldera dringenden Hauptbaranco zu, daß er auf einer Spaltung beruhe. Sie leiten demnach den Erhebungs-Krater ebenfalls von einer Aufschüttung der aus der Tiefe emporgestiegenen vulkanischen Massen ab, und nehmen für diesen ältesten und ersten Ausbruch eine sehr großartige Thätigkeit des Vulkans zur Zeit seiner Bildung an, gegen welche die späteren Eruptionen, wenn sie es nicht bis zu einer Ausfüllung der alten Caldera brachten, unbedeutend erscheinen. Die Bildung der Caldera erklären sie ebenso sehr aus der Gewalt, mit welcher diese ältesten und ersten Auswurfsmassen hervorgetrieben wurden, wie aus späteren Einstürzen der Spitze des Kegels, welche erfolgten, als der Vulkan seinen ersten Ausbruch vollendet hatte, und nun die von seinen Ausbruchstoffen in der Tiefe gelassenen Räden durch Einstürzen eines Theils der aufgeschütteten Massen wieder ausgefüllt werden mußten. Wir werden daher, wenn diese Ansichten die richtigen sind, nur bei kleineren und allerméistens bei erloschenen Vulkanen einen relativ sehr weiten und großen Krater antreffen müssen, bei noch thätigen aber einen viel kleineren, wenn auch höher aufsteigenden, weil die beständigen Eruptionen immer neue Auswürflinge hervorföhren, und das Einstürzen der Spitze bis auf beträchtliche Tiefen hindern.“

Diese beiden einander gegenüberstehenden Ansichten mußten wir hier auföhren, da zwischen ihnen der Streit noch nicht zu Ende geföhrt ist. Und scheint es, als ob beide sehr wohl neben einander bestehen könnten, da die Natur nicht immer auf ein und dieselbe Weise sonst gleiche Phänomene zur Erscheinung bringt. Föhrt doch Burmeister selbst die griechische Insel Samosin als ein für die Buch'sche Ansicht vortreffliches Beispiel an. Mit den beiden kleinen ihr gegenüberliegenden Inseln Ithassa und Nyoniss bildet die genannte Insel einen vormaligen, durch Einbrüche des Meeres geöffneten Krater, in dessen Mitte noch in

*) Geschichte der Schöpfung. 8. Aufl. S. 78; vergl. auch v. Leonhard, Lehrbuch der Geognosie und Geologie 1833. S. 669.

historischer Zeit viermal neue oder Eruptionöfegeln aufstiegen, welche die kleinen Inseln Hiera und Neo Kameni hinterließen. Gegen diese Inseln zu bestehen die Kraterwände aus Trachyt, am äußeren Umfange des ägäischen Meeres aber aus Thonschiefer, dessen Schichtungsflächen, wie es die Erhebung mit sich bringt, gegen das Meer hin einfallen.

A. v. Humboldt *) selbst sagt, man könne sich das Hervorbrechen von feuerflüssigen Massen und festen Stoffen, von Dämpfen und Gasarten begleitet, auf viererlei Weise vorstellen. Er nennt 1) Eruptionen auf Spalten, nicht einzelne Regelreihen bildend, sondern in geschlossenem und zähem Zustande über einander gelagerte vulkanische Gebirgsmassen erzeugend; 2) Ausbrüche durch Aufschüttungs-Regel ohne Umwallung, und doch Lavaströme ergießend; 3) Erhebungs-Krater mit gehobenen Schichten, ohne Centralkegel: Lavaströme nur an der äußeren Seite der Umwallung, nie aus dem Inneren, das früh sich durch Einsturz verschließt, ausfließend; 4) geschlossene Glockenberge oder an der Spitze geöffnete Erhebungskegel: entweder mit einem, wenigstens theilweise erhaltenen, Circus umgeben, oder ganz ohne Umwallung und ohne Erhebungs-Krater. Die offenen Erhebungskegel der vierten Klasse bewahren eine permanente, in unbestimmten Zeiträumen mehr oder weniger thätige Verbindung zwischen dem feurig heißen Erd-Innern und dem Luftkreise.

Die letztere Abtheilung würde es demnach sein, welche im vorliegenden Artikel vorzugsweise ins Auge zu fassen ist.

Die Thätigkeit der Vulkane äußert sich entweder durch Erdbeben, worüber ein besonderer Artikel (Bd. II. S. 857) handelt, oder durch wirkliche Ausbrüche. Die letzteren finden in der Regel nicht ohne jene statt. Von dem majestätischen Schauspiel eines solchen Ausbruches giebt uns Burmeister (a. a. O. S. 77) eine treffliche Schilderung. Dieselbe lautet folgendermaßen:

„Geraume Zeit vor dem Eintritte einer wirklichen Eruption pflegen Erdererschütterungen das Herannahen einer solchen zu verkünden, besonders, wenn der Kratergrund seit einiger Zeit sich mehr gehoben hat, und aus der Trichterform langsam während mehrerer Jahre anschwellend in die einer leicht vertieften Ebene übergegangen ist. Alsdann verrathen auch schon senkrecht aus dem Krater aufsteigende, oberhalb in mannichfachen Wirbeln sich kräuselnde Dämpfe, welche die fruchtbare Einbildungskraft der Italiener seit Jahrhunderten dem schlanken Wuchse der einheimischen Vinen verglichen hat, die bis dahin schlummernde Thätigkeit der unterirdischen Mächte deutlicher und geben den Anwohnenden ein mahnendes Zeichen, daß mit ihnen kein dauernder, kein ewiger Bund zu schließen sei. Während an manchen Vulkanen diese Rauchsäulen, in Italien Fumarolen genannt, erst bei bevorstehenden Eruptionen sich einstellen, anfangs leichten Wasserdünsten gleichend, hauchen andere Vulkane beständig solche Dunstmassen aus, und verkünden die Nähe einer Eruption höchstens durch Vermehrung ihrer Fumarolen an Umfang und Intensität der sie bildenden Dämpfe, bis zum Ansehen einer schweren, das Haupt des Berges umlagernden Gewitterwolke. Ehe es jedoch zu einer solchen Höhe der Ausbrucherscheinungen aus dem Krater selbst kommt, zeigen die Entwicklung der Eruption andere Zeichen in seiner Nähe an. So vernimmt man

*) Kosmos, Bd. IV. S. 272.

in der Regel gleich anfangs ein eigenthümliches Getöse, das dem Rischen verdampfenden, auf glühende Kohlen geschütteten Wassers gleicht, sich nach und nach bis zu dem Brausen gewaltiam aus engen Ründungen strömender Dämpfe steigert, und später in wirkliche Detonationen übergeht, wie wenn man fernem Kanonendonner hört. Mit diesen Geräuschen verbinden sich leise Beben des Bodens, die bald zunehmen, oder auch sehr schon sehr heftig sein können, wenn leichte Erschütterungen allen andern Erscheinungen vorangingen; ein starker Knall, welcher nun zu erfolgen pflegt, und meistens mit einer plötzlichen Entzündung der Rauchsäule verbunden ist, verkündet dann den wahren Anfang der Eruption, die alsbald mit dem Auswerfen glühender Substanzen beginnt und in ähnlicher Thätigkeit bleibt, so lange sie dauert. Jetzt füllt sich auch der durch jene erste Explosion zerrissene Kratergrund mit glühender Lava, die abhageweise an verschiedenen Stellen hervorquillt; oftmals berstet er während dieses Hebens aufs Neue, thürmt sich zu kleinen Schlackenkegeln in seiner Mitte oder an den Eruptionspunkten auf, und stößt um so stärkere, dunklere Rauchwolken mit immer zunehmendem Geprassel aus. Bei einer solchen Steigerung der Rauchmassen ist die Eruption schon in voller Thätigkeit; sie verfinstert mit ihren Dünsten die Tageshelle und läßt kaum noch dem Lichte der strahlenlosen Sonnenscheibe einen schwachen Durchweg; denn ein feiner aschenartiger Staub fällt aus der Luft herab und zeigt an, daß nicht bloß Dampfwolken, daß auch erdige Bestandtheile emporsteigen und von den Dämpfen mit fortgerissen aus den kälteren, minder bewegten Luftschichten der Umgebung mit feinen Wassertropfen gemengt wieder herabfallen. Beide überziehen, gleich einer Trauerdecke, alle benachbarten Gegenstände, und tödten oft schnell und sicher, sei es durch die Hitze, sei es durch den feinen Staub und die Schwefeldämpfe oder die Säuren, welche dem Wasser beigemischt sind, Pflanzen und Thiere. Dabei steht man fortwährend die unteren Theile der Rauchmassen erleuchtet, ja flammend; ein Widerschein der im Krater sich hebenden glühenden Lava, welcher mit sichtbarer Intensität zunimmt, wie diese frisch hervorquillt und nach oben allmählig schwächer werdend in den Dunstmassen sich verliert, zuletzt nur noch die gewölbten Ränder ihrer Wirbel mit einem glühenden Saume bemalend. Immer lauter wird zugleich das Getöse, immer schneller folgen einander die Schläge, und Donner auf Donner treibt die emporlobernden Dampfmassen zu einer schwindehenden Höhe hinan. Oft fahren, von solchen Explosionen getrieben, die glühenden Körper senkrecht durch die Rauchwolken, neigen sich, wenn ihre Fliehkraft erschöpft ist, unter Bogen, und fallen mit prasselndem Geräusch auf die Kraterwände nieder; hier nach allen Seiten gleich Eisenschlacken, die der Hammer Schlag abtreibt, zerspringend. Selbst in der Luft trennen sie sich, wenn ein Theil der unförmlichen Masse, größere Schwere besitzend, eine andere Fliehkraft erhalten hat, und strahlenförmig lösen sie sich dann, gleich aufsteigenden Raketen, in ihre verschiedenartigen Bestandtheile aus einander. Und immer schneller und schneller folgen die Stöße, immer lauter wird ihr Knall, immer zahlreicher die Menge der emporgeschleuderten Feuerklumpen, immer stärker das Geprassel ihrer fallenden Bruchstücke. Hier ergreift wohl ein nachfolgender den bereits zurückkehrenden, und die Heftigkeit des Stoßes der sich begegnenden mehrt die Zersplitterung, steigert die gleich plötzlichen Bomben umhergeschleuderten Scherben. Da naht aufs Neue das lange gefürchtete, ängstlich erwartete, schaudervolle Erzittern des Bodens, der dem Andränge der eingepreßten Dämpfe nachgebend sich windet und berstet, und radienförmig

nach allen Seiten von der Mitte des Berges aus die Ebene zertrümmert. Und diese Erschütterung ist es, welche unter allen Eruptionsercheinungen den Menschen am meisten schreckt, welche ihn aus dem wirklichen Dache in die aufgeregte Natur hinaustrreibt und nöthigt, lebender Zeuge des großen Ereignisses zu sein, das einst in gesteigerter Höhe die Erdoberfläche bildete und denselben Boden aus dem Meere emporhob, den es nun seinen andringenden Wogen in erneuter Katastrophe wieder preisgibt. Doch das Ende des Unheils, so schauerlich schon in seinen einzelnen Zügen, steht nahe bevor. Schon zeigt sich der glühende Fluß leicht gewölbt über den niedrigsten Stellen des Kraters, schon fließt an einzelnen Punkten die geschmolzene Lava herunter und schlängelt sich langsam, eine feurige zähe Masse, an den Wänden des Kegels fort, die niedrigen, ihr im Laufe begegnenden Gesträuche entzündend, daß sie mit flackernder Flamme auf ihrer Fläche emporlodern. Bald folgt solchen Vorläufern der feurige Hauptstrom nach. Während aller dieser Erscheinungen immer mehr im Krater emporgestiegen; durch neue, neben den alten hervorbrechende Bluthen näher und näher dem Rande gerückt; endlich sogar polsterartig über den tiefsten Stellen des Randes eine Zeit lang schwebend, stürzt plötzlich, von einem Donnergetöse und heftigen Erschütterungen begleitet, die glühende Lava herab, und in demselben Augenblicke strömt sie aus einer entzündeten Spalte tief unten am Fuße des Kegelsberges hervor, anfangs vom Druck der über der Oeffnung stehenden Massen selbst fontainenartig aufsteigend und immer breiter, mächtiger in die fruchtbare, von Menschen sorgfältig bebauete Ebene sich ergießend. Schnell windet sich dieser verheerende Fluß mit stets wachsender Gewalt auf der geneigten Fläche zur wirklichen Ebene hinab, und öffnet durch den leer gewordenen Krater den elastischen Stoffen einen Ausweg. Von Aische begleitet und sie mit sich fortführend steigen die Dämpfe einer dunklen Säule gleich hoch empor und gestalten sich oben in den Lüften zu jener Pinienform, die schon den ältesten Bewohnern auffiel. Dieser majestätische ungeheure Aichenbaum bildet die tragische Schlusscene der ganzen Erscheinung, er breitet seine Krone unheilswanger über die Ebene aus, und bedeckt sie, sich senkend, mit seinem düstern Laube auf ewig; an 100 Fuß mächtige Lager hat er einstens über *Herkulanum* und *Pompeji* ausgeschüttet *). Auf solche Weise begleiten ähnliche Erscheinungen, in größeren, geräuschvolleren Phasen wiederkehrend, den unheilvollen Ausbruch der Eruptionsercheinungen von ihrer höchsten Ausbildung durch mannichfache Abkufungen rückwärts zu jener unscheinbaren Dampfsäule zurück, welche als der erste Vort so grauenvoller Entwicklungen die Uebergangsercheinungen einleitete. — Wenn endlich die Tageshelle diesen durch die großartigen Leuchtfeuer nur schwach erhellten Finsternissen wieder folgt, so zeigt sich das ganze Bild der Zerstörung in seiner Vollenbung; alles urbare Erdreich rings umher ist von aufgeschütteter Aische bedeckt, auf den Wänden des Berges und an seinem Fuße lagern die tausend und abertausend Bruchstücke der versprungenen Auswurfsmassen, und zwischen diesen neuen Erdschichten windet sich der noch heiße, glühende, rauchende, ja

*) Beide Städte sind nicht gleich stark verschüttet worden. Nur über *Herkulanum*, welches dem Vesuv näher liegt, beträgt die Erddede gegenwärtig 70 — 112 Fuß, rührt aber, wie die Durchschnitte zeigen, mindestens von sechs verschiedenen Eruptionen her. *Pompeji* Gehäute haben bloß eine Decke von 12 — 20 Fuß. Lava hat sich nicht über sie ergossen, das Verschüttungsmaterial besteht nur aus Aische und Lavilli. — Vergl. über diesen Ausbruch des Vesuvus vom Jahre 79 n. Chr. Plin. Epist. VI. 16. 20.

stellenweis flammende Lavaström im selbstgebildeten Bette zu einer Tiefe hinab, wo ihm die Kalthöhe fehlt und der zähe Fluß in sich seinen Haltpunkt findet. Alles umher gleicht einer trostlosen Hölle, die grügende Pflanzendecke fehlt, die verdorrten Bäume strecken ihre bestäubten Äste blattlos in die düstern Lüfte, und das thierische Leben hat schon längst aufgehört hier zu schlagen, ja es hat in der glühenden Asche selbst die Spuren seines Daseins verloren.

Beifolgender Holzschnitt zeigt den Krater des Vesuvius im August 1834 vor den bald darauf erfolgten Eruptionen im Zustande schlummernder Thätigkeit. Man gewahrt im Vordergrunde die obersten Ränder des beim Ausbruche vom Jahre 79 gebildeten, jetzt alten Kraters, und sieht seine fast senkrecht abwärtsflie-



Wand an der linken Seite bis zum Hintergrunde sich hinziehen. Hier bedeckt sie der neueste Eruption-Aschenkrater, ein glockenförmiger Berg von mehr als 300 Fuß Höhe, welcher mitten auf dem horizontalen Kraterplateau ruht und nach rechts an eine leichte Erhebung des Kraterbodens sich anlehnt, hinter welcher aus einer breiten Spalte kleine Eruptionskegel in mehrfacher Zahl hervorragen. Von da ist der ebene Kraterboden bis zum Vordergrunde mit den wild über einander geschobenen Schlacken erkalteter Lava bedeckt, während in der Mitte des Bildes ein frischer Lavaström aus dem Boden hervorquillt und zum Munde des Kraters hinabfließt, auf beiden Seiten von aufgethürmten Wällen kalter Schlacken eingefasst. Leichte fumarolen, wie sie auch aus den Eruptionskegeln entweichen, erheben sich von seiner Fläche; der übrige Boden ist von Asche und Lapillis bedeckt *).

Die Anzahl der noch entzündeten Vulkane oder vielmehr derjenigen, welche

*) Vergl. auch die Schilderung der Eruptionen in v. Leenhart's Lehrbuch der Geognosie und Geologie. 1835. S. 676 ff.

in neuerer Zeit noch Beweise der Entzündung gegeben haben, (denn die Ausbrüche eines Vulkans folgen in sehr unbestimmten zum Theil sehr langen, zum Theil sehr kurzen Zwischenräumen, wie man z. B. bei dem Vesuv größere Ausbrüche von 79 bis 1500 nur in den Jahren 203, 512, 652, 983, 1138 und 1500 gezählt hat) ist nach Werner 193, nach G. v. Leonhard 187, nach Arago 175, nach A. v. Humboldt 225. Die Arbeit des Letzteren ist jedenfalls die zuverlässigste, da er sich streng an die Quellen, welche geognostische und geographische Reiseberichte ihm boten, gehalten hat. Er zählt überhaupt 407 Vulkane auf, kann aber nur von 225 nachweisen, daß sie noch in der neueren Zeit thätig gewesen sind. A. v. Humboldt's Zusammenstellung *), in welcher die in Barenthese stehende Zahl die noch thätigen Vulkane, die andere die Vulkane, von denen sonst noch berichtet worden ist, bezeichnet, ist folgende:

Zahl der Vulkane auf dem Erdkörper.

I. Europa	7	(4).
II. Inseln des atlantischen Meeres	14	(8).
III. Afrika	3	(1).
IV. Asien, das continentale	25	(15).
a) westlicher Theil und das Innere	11	(6).
b) Halbinsel Kamtschatka	14	(9).
V. Ost-asiatische Inseln,	69	(54).
VI. Süd-asiatische Inseln	120	(56).
VII. Indischer Ocean	9	(5).
VIII. Südsee	40	(26).
IX. Amerika	115	(53).
a) Südamerika	56	(26).
a) Chili	24	(13).
β) Peru und Bolivia	14	(3).
γ) Quito und Neu-Granada	18	(10).
b) Central-Amerika	29	(18).
c) Mexico, südlich vom Rio Gila	6	(4).
d) Nordwest-Amerika, nördlich vom Gila	24	(5).
X. Antillen	5	(3).

in Summa: 407 (225).

Bei dieser Zusammenstellung fällt es auf, daß die Mehrzahl der Vulkane sich auf Inseln findet, und würde man die Localität der continentalen Vulkane in Betracht ziehen, so würde auch das damit übereinstimmende Resultat sich ergeben, daß diese mit geringen Ausnahmen in nicht allzu großer Entfernung von der Meeresküste angetroffen werden. A. v. Humboldt **) hat eine Reihe von Zahlen in geographischen Meilen aufgeführt, welche die Meeresferne vulkanischer Thätigkeit näher angeben. 45 Meilen ist hiernach schon eine bedeutende Entfernung; 150 bis 170 Meilen entfernt sollen dem Anscheine nach sehr frisch ausgebrannte Vulkane im nordwestlichen Amerika in den Felsengebirgen liegen. Bei den im Innern

*) Kosmos, Bd. IV. S. 446.

**) Kosmos, Bd. IV. S. 453.

Affens in der Gebirgskette Ibiandshan (Himmelsgebirge), also zwischen dem Altai und Kuen-lün, liegenden Vulkanen dürfte man wohl mit Recht an eine Beziehung zu den Binnengewässern zu denken haben.

Die Ursache dieses localen Vorkommens findet A. v. Humboldt*) in der Haltung der oberen Erdrinde und der Erhebung der Continente oder in der local minderen Tiefe des starren Theils der Erdkruste. Man könne sich vorstellen, daß an den Rändern der aufsteigenden Continente, welche jetzt die über der Meeresfläche sichtbaren Littorale mit mehr oder minder schroffen Abhängen bilden, durch die gleichzeitig veranlaßten Senkungen des nahen Meeresgrundes Spalten verurrsacht seien, durch welche die Communication mit dem geschmolzenen Innern befördert werde. Zur Unterhaltung der vulkanischen Thätigkeit würde hiernach weder oceanisches noch Binnengewasser erforderlich sein, wie früher Lavoisier, Laplace und später eine Zeitlang Davy und Gay-Lussac annahmen; sondern Inseln und Küsten sind wohl nur darum reicher an Vulkanen, weil das Emporstreigen der letzteren, durch innere Kräfte bewirkt, von einer nahen Depression im Meeresbecken begleitet ist, so daß ein Erhebungsgebiet an ein Senkungsgebiet grenzt und an dieser Grenze mächtige, tief eindringende Spalten und Klüfte veranlaßt werden. Hiernach würde sich auch das Vorkommen von Vulkanen im Innern Küstens vollkommen erklären lassen. Es sind die gehobenen Stellen unseres Erdkörpers unweidergänglich die schwachen Stellen der das feurig flüssige Innere einschließenden Erdrinde, gewissermaßen die Narben, welche dieselbe in ihrem Kampfe mit den unter ihr thätigen Kräften davongetragen hat. Es ist aber bekannt, daß selbst alte Narben durch ihren zeitweiligen Auslauf daran erkennen, daß eben da eine schwache Stelle sich befindet.

Die Höhe der Vulkane ist sehr verschieden; man findet sie als kleine Hügel (z. B. der Vulkan von Cosima, einer der japanischen Kurilen) und als mächtige, mehrere Tausend Fuß hohe Berge. Bei den niedrigeren Vulkanen scheinen die Ausbrüche häufiger zu sein, als bei den hohen, wohl deshalb, weil bei gleicher Tiefe des Herdes eine größere Kraft dazu gehört, die geschmolzenen Massen zu einer größeren Höhe zu heben.

L. von Buch unterscheidet zwei Classen von Vulkanen: Central- und Reihenvulkane. Je nachdem dieselben den Mittelpunkt vieler fast gleichmäßig nach allen Seiten hin wirkender Ausbrüche bilden, oder in einer Richtung, wenig von einander entfernt liegen, gleichsam als Oeffen auf einer langgedehnten Spalte. Die Reihenvulkane theilt derselbe wieder in zwei Arten. Entweder erheben sie sich als einzelne Regel-Inseln von dem Grunde des Meeres, und es läuft ihnen meist zur Seite, in derselben Richtung, ein primitives Gebirge, dessen Fuß sie zu bezeichnen scheinen, oder die Reihenvulkane stehen auf dem höchsten Rücken dieser Gebirgsreihe und bilden die Gipfel selbst. Der Pic von Teneriffa würde demnach zu den Centralvulkanen gehören, während auf der Andeskette Reihenvulkane auftreten. Charles Darwin betrachtet die Centralvulkane im Allgemeinen als Reihenvulkane von kurzer Ausdehnung auf parallelen Spalten. Die Gruppe der spanischen Inseln bildet nach Friedrich Hoffmann ein Zwischenglied zwischen den Central- und Reihenvulkanen. Es dürfte wohl überhaupt der von L. von

*) Kosmos, Bd. I. S. 454.

Auch aufgestellte Unterschied ein nur äußerlicher sein; denn die Reihenvulkane der Andeskette stehen, wo sie nahe liegen, entschieden in gegenseitiger Abhängigkeit von einander, so daß der Heerd ein gemeinschaftlicher sein muß.

Die Stoffe, welche durch die Vulkane ausgestoßen werden, sind im Allgemeinen und hauptsächlich von viererlei Art: Rauch, Asche, emporgeschleuderte Körper und Lava.

Der Rauch entströmt vielen Vulkanen beständig und ist dann Wasserdampf, der seinen Ursprung wohl vorzugsweise dem atmosphärischen Wasser verdankt, aus welchem auch die Quellen herzuweisen sind. In der Regel ist der Wasserdampf jedoch nicht rein, sondern namentlich mit Schwefeldämpfen gemischt. Deshalb trifft man in den Fumarolen gewöhnlich Schwefelwasserstoffgas, schwefelige Säure und selbst reine Schwefeldämpfe an, und daher kommt es auch, daß die Vulkane in ihrer nächsten Umgebung auf das organische Leben so nachtheiligen Einfluß ausüben. Der in der Nähe der Vulkane häufig gefundene Gyps verdankt gewiß auch der Einwirkung der Schwefelsäure auf den kohlensauren Kalk seinen Ursprung und nicht minder dürfte das Vorkommen des Alaunsteines durch die Einwirkung der Schwefelsäure auf die Thonerde bedingt sein. Außerdem zeigen sich in den Dämpfen der Vulkane Chlorverbindungen, namentlich Salzsäure, selbst Kochsalz und Salmiak. Seltener tritt Kohlensäure aus den Fumarolen hervor, namentlich in Südamerika soll dies der Fall sein; doch sprechen die fast nur in der Nähe von vulkanischen Gebirgen vorkommenden Sauerbrunnen und die in Italien so zahlreichen Mofetten für eine häufige Entwicklung dieser Säure. In der Zersetzung des kohlensauren Kalks in den dem vulkanischen Heerde benachbarten Lagern vermöge der Einwirkung der Hitze dürfte der Grund dieser Entwicklungen von Kohlensäure zu finden sein.

Wenn der Rauch mehr den schlummernden Vulkanen entströmt oder dem eigentlichen Ausbruche vorangeht, so ist dies nicht mit der Asche der Fall, denn ihr Erscheinen fällt mehr in die Mitte oder gegen das Ende eines Ausbruchs. C. v. Leonhard schildert die Bildung dieser Asche in folgender Weise. „Die elastischen Flüssigkeiten schleudern bei ihrem schnellen Entweichen die lockern Substanzen, sowie die Trümmer fester Gesteine, durch welche hindurch sie sich einen Ausweg bahnten, senkrecht aufwärts. Die Festigkeit, die schnelle Wiederholung dieser Auswürfe, welche die nämlichen Fragmente, indem sie gegen die Mündung herabfallen, erleiden, bringen dieselben allmählig zu einer solchen Dünne und Kleinheit, daß sie mitunter im erhitzten Gewölke wässeriger Dämpfe schweben, daß gleichzeitig in ungeheuren Massen aus der vulkanischen Mündung entladen wird. Das Emporsteigen dieser Dünste, auf die erwähnte Art untermeugt mit staubartigen Materien, bedingt das Aussehen einer hohen Säule dicken Rauchs, deren Basis auf dem Kraterrande ruht. Aus einiger Ferne scheint diese Säule aus einer Menge fugelicher Wolken zu bestehen, wovon eine die andere empordrängt, und die alle durch fortdauernde Explosionen aufwärts getrieben werden. In gewisser Höhe, die meist durch die wechselseitigen Verhältnisse der Dichtigkeit der Rauch- und Dampfsäule zu jener der Atmosphäre bestimmt wird, erweitert sich dieselbe, insofern sie nicht Luftströmungen in andere Richtungen treiben; Rauch und Dampf verbreiten sich nun nach allen Seiten als dunkle, trübe, kugelförmige Wolken. Bei günstigen atmosphärischen Bedingungen hat die Wolke die Gestalt

eines Pinus-Baumes; eine Erscheinung, die man als sehr nahe und heftige Lavavon-Eruptionen verkündigend zu betrachten geneigt ist. — Mannigfaltig verzweigte Blitze fahren beständig aus den Wolken hervor.“ Durch einen solchen Nischenauswurf wurden im Jahre 79 Herculaneum und Pompeji verthünet. Die Nische besteht aus kleinen Krystallen von Feldspath, Augit, Titanstein, Magnet-eisen, Olivin, und offenbart sich überhaupt als fein zertheilte Lava. Ist die Nische stark mit Wasserdämpfen beladen, so entsteht ein förmlicher Nischenregen. Bisweilen wird die Nische weisfortgeführt; ja es giebt Fälle, daß die aus dem unteren Passatwinde in den obern emporgestiegene Nische durch den letzteren nach entlegenen Gegenden getragen worden ist. Die Nische aus dem Vulkan Morne Garou des 20 Meilen westlich von Barbados liegenden St. Vincent kam am 1. Mai 1812 nicht von Westen, sondern aus Osten auf die letztere Insel, in der Richtung von den Azoren her. Die Nische hatte einen sehr großen Umweg gemacht, war nämlich aus dem unteren in den oberen Passat geschleudert und durch letzteren fortgeführt worden. Die Nische fiel zu Barbados so stark, daß man in den Zimmern nicht die Stelle der Fenster zu unterscheiden vermochte und die Bäume unter der Last des herabfallenden Nischenregens brachen. Ein ähnliches Beispiel berichtet man vom 20. Januar 1835. Es fand ein Ausbruch des Cosiguina in Mittelamerika statt und die Nischenmenge, welche ausgeworfen wurde, war so dicht, daß Union, eine Hafenstadt an der Westküste der Bay von Conchagua, 43 Stunden lang in die absoluteste Finsterniß versetzt wurde. Nische fiel in diesem Falle auch zu Kingston und an anderen Orten in Jamaica herab, wohin sie nur durch den oberen Passat geführt sein konnte, da Jamaica nordöstlich von Nicaragua liegt. Bei Ausbrüchen des Hells auf Island ist oft auf Schiffe, welche in der Nähe der Garder-Inseln oder Shetland-Inseln segelten, Nische gefallen.

Die emporgeschleuderten Körper, welche man in Italien Kapilli oder Kapilli nennt, sind theils Bruchstücke der Kraterwände, theils losgerissene Lavamassen. Die entweichenden Dämpfe reißen dieselben nicht nur los, sondern schleudern sie auch empor, bisweilen zu bedeutenden Höhen. Die von Lava herührenden Kapilli zeigen sich glasförmig oder schlackenförmig und sind in der Regel, da sie leicht zerpringen, von unbedeutender Größe, höchstens von der einer Nuß. Die Bruchstücke der Kraterwand sind größer und von schwarzer Farbe. Die Gelsblöcke, welche der Vulkan von Pasto in Südamerika oft aus schleudert, schlagen bei ihrem Niederfallen am Bergabhange 5 bis 6 Fuß tiefe und 4 bis 5 Fuß weite Löcher. Boussingault untersuchte diese Löcher und fand auf ihrem Boden einen stark verschlackten Trachyblock. Der Cotopaxi soll nach Condamine eine Masse von 1000 Cubikfuß auf eine Entfernung von drei Stunden geschleudert haben:

Bei vielen Eruptionen kommt es gar nicht bis zum Ergusse des vierten Auswurfsstoffes, der Lava. Ein Lavaerguß findet nur statt, wenn dieselbe den niedrigsten Theil des Kraterlandes überspreitet, oder die Kraterwand durch eine Spalte einen Ausweg gestattet, oder ein förmlicher Durchbruch der Kraterwand sich ereignet. „Weislich ein solcher Durchbruch, so fließt, wie A. v. Humboldt*) sagt, die neueröffnete Erdquelle meist dergestalt ruhig und auf so bestimmten

*) A. v. H. Bd. I. S. 242.

Wegen, daß das große Kesseltbal, welches man Krater nennt, selbst in dieser Eruptionen-Epoche besucht werden kann.“ Bei Nacht erscheint die Lava weißlich-glühend und die innere Bewegung der Masse läßt sich ordentlich verfolgen und beobachten; bei Tage umgibt eine Hülle von Dünsten und Dämpfen den Strom. Die Oberfläche der Lava wird schnell fest und bildet eine schladenartige Rinde; unter dieser erscheint die Lava des Nachts rothglühend und zwar immer dunkler werdend, je mehr die Dicke der Rinde zunimmt. Der Flüssigkeitszustand der Lava ist nur ein unvollkommener, gewissermaßen ein dem Korne nach verschiedener, d. h. es ist flüssiges mit Nichtflüssigem gemengt. Man ist zu Zeiten an ruhig fließende Lavaströme herangetreten und hat gefunden, daß man einen Stab nur mit einer gewissen Kraftanwendung in die fließende Masse hat hineinstecken können. Die austretende Wärme ist nicht so bedeutend, als man denken sollte; die erstarrte Decke ist nämlich ein sehr schlechter Wärmeleiter. Man hat es sogar gewagt, über die kaum festgewordene Decke hinwegzudreiten. Die Zeit, in welcher der ganze Lavaström erstarrt, ist sehr verschieden und hängt theils von dem Flüssigkeitszustande, dem Korne, ab, theils von der Mächtigkeit des Stromes, theils von der Beschaffenheit des Bodens, über welchen er sich ergießt. Die Lava des Vesuvius vom 15. Juni 1794 war nach einem Jahre schon so erkaltet, daß man anfang, auf derselben neue Gebäude zu errichten. Die Lava des Aetna vom Jahre 1669 war bei Catania nach 8 Jahren noch so warm, daß man seine Hand in eine ihrer Spalten zu bringen wagen durfte. Derselbe Strom zeigt uns auch, wie weit die Lava bisweilen fließt, denn er hatte eine Länge von 14 italischen Meilen bei einer Breite, die stellenweise 6 Meilen betrug. Stürzt ein Lavaström in das Meer, so wird die Oberfläche der Lava schnell fest und die eintretenden Explosionen sind bei weitem nicht so heftig, als man wohl erwarten könnte. Das die glühende Lava zunächst umgebende Wasser verwandelt sich dann in Dampf, das etwas entferntere erlangt eine verhältnißmäßig erhöhte Temperatur und erleidet eine Erhörung.

Die hart gewordene Lava ergiebt sich als ein mehr oder minder inniges Gemenge aus Feldspath oder Labrador, aus augit- und titanhaltigen Magneteisentheilen; oft sind Zeuzit, Sodalit, Harmotom und andere Mineralien beigesellt. Meist unausgefüllte Blasenräume, d. h. rundliche blasenförmige Puden gehören zu den charakteristischen Merkmalen der Lava, welche den noch sehr thätigen Vulkanen entströmt. Ueberhaupt zeigt sich dieselbe gewöhnlich porös. Der Bruch ist sehr verschieden: uneben, gewöhnlich mit feinem Korne, in anderen Fällen splinterig, selbst muschelig. Die Farbe ist grau oder braun, selten roth oder schwarz. Je nach dem Vorwalten des einen oder des anderen Gemengtheiles unterscheidet man: Augitlaven, ein inniges Gemenge von Feldspath und Augit, häufig noch mit Magneteisen verbunden, fast ohne Quarz; Feldspathlaven, den sogen. Trachyt, feinsplinterigen Feldspath von gelblich-grauer oder weißlich-grauer, selbst röthlich-grauer Farbe, krystallglässigen Feldspath und oft auch Glimmerblättchen, Hornblendenadeln u. dergl. einschließend. Genau genommen bezeichnet Lava gar keine besondere mineralische Zusammensetzung des Gesteines, sondern Alles, was im Vulkan fließt.

Als Eigenthümlichkeit der Vulkane in der Aequatorialzone Amerik's ist der Umstand hervorzuheben, daß sie keine eigentliche Lava ergießen, sondern schlammartige Massen, die häufig Fische enthalten, auswerfen. A. v. Humboldt bringt dies geschieht damit in Zusammenhang, daß diese Vulkane sich mit ihren Gipsen

hoch über die Grenze des ewigen Schnees erheben. Er sagt *): „Die Schneemassen erzeugen nicht bloß durch plötzliches Schmelzen während der Eruption furchtbare Ueberschwemmungen, Wasserströme, in denen dampfende Schlacken auf dicken Eismassen schwimmen; sie wirken auch ununterbrochen, während der Vulkan in vollkommener Ruhe ist, durch Infiltration in die Spalten des Trachytegesteins. Höhlungen, welche sich an dem Abhange oder am Fuße der Feuerberge befinden, werden so allmählig in unterirdische Wasserbehälter verwandelt, die mit den Alpenbächen des Hochlandes von Quito durch enge Oeffnungen vielfach communiciren. Die Fische dieser Alpenbäche vermehren sich vorzugsweise im Dunkel der Höhlen, und wenn dann Erdstöße, die allen Eruptionen der Andeskette vorhergehen, die ganze Masse des Vulkans mächtig erschüttern, so öffnen sich auf einmal die unterirdischen Gewölbe und es entstürzen ihnen gleichzeitig Wasser, Fische und tuffartiger Schlamm. Dies ist die sonderbare Erscheinung, welche der kleine Weiß der Cyclopen, die Brennartilla der Bewohner der Hochebene von Quito gewährt. Als in der Nacht vom 19. zum 20. Juni 1698 der Gipfel des 18000 Fuß hohen Berges Carguairazo zusammenstürzte, so daß vom Kraterrande nur zwei ungeheure Felsbänke stehen blieben, da bedeckten flüssiger Tuff und Unfruchtbarkeit verbreitender Lettenschlamm, todtie Fische einhüllend, auf fast zwei Quadratmeilen die Felder umher. Ebenso wurden, sieben Jahre früher, die Kaulstieber in der Gebirgsstadt Barra, nördlich von Quito, einem Fischeauswurfe des Vulkans Imbaburu zugeschrieben.“

Ueber die Quellen in der Nähe der Vulkane, welche Mineralsäuren enthalten, so wie über die Naphta- und Erdölquellen vergl. Art. Quellen Bd. V. S. 563.

Noch haben wir die vulkanischen Ausbrüche zu erwähnen, welche auf dem Meeresboden stattfinden. Man hat deren mehrere beobachtet, weil durch dieselben neue Inseln emporgetrieben wurden, und es ist nicht ohne Grund anzunehmen, daß dieselben gar nicht so selten sind, da das Meer eine so große Fläche unseres Erdballs bedeckt.

Im Jahre 1707 erhob sich im griechischen Archipelagus in der Nähe der Insel Santorin zwischen Groß- und Klein-Kammeni eine Insel, die nach wenigen Wochen bei 30 Fuß Höhe eine halbe französische Meile Umfang hatte. Im Jahre 1712 soll der Umfang 5 franz. Meilen und die größte Höhe 400 Fuß betragen haben. — 1795 entstand bei Unalaska, in der Gruppe der Ruchinseln, ein neues Eiland. Dasselbe wiederholte sich ebenda 1814. — 1831 erhob sich Ende Juni eine Insel zwischen Sicilien und Afrika, die jedoch Ende December desselben Jahres schon wieder verwich.

Oben haben wir bereits A. v. Humboldt's Ansicht über das Durchbrechen der unter der starren Erdrinde thätigen Kräfte angeführt. Es steht dieselbe in Verbindung mit der beim Eindringen in die Erdrinde eintretenden Temperaturerhöhung **), welche auf eine Dicke der Erdrinde von nur $5\frac{2}{10}$ groar. Meilen schließen läßt, insofern dort die Schmelztemperatur des Granits erreicht sein würde. Unterhalb der starren Erdrinde stoßen wir auf ein feurigflüssiges Innere. In den frühesten Zeiten nahm man an, daß im Innern der Erde ein wahres Feuer

*) A. a. O. Bd. I. S. 242.

**) Vergl. Art. Erde Bd. II. S. 916 ff.

brenne und die Krater der Vulkane die Zugöffnungen desselben seien; zu dem Feuer eindringendes Wasser veranlaßt dann die gewaltigen Katastrophen. Man sieht nicht ein, woher dies Centralfeuer die zu seinem Bestehen erforderliche Luft und Nahrung gewinnt. Später nahm man an, daß das unterirdische Feuer durch Verwittern von Eisenkiesen beim Zutritte von Luft und Wasser entstehe. Diese Ansicht vertrat namentlich Lyster, und auch Lemery der Ältere und Braune bekannten sich zu derselben. Werner basirte seine Ansicht auf brennende Steinkohlen-Flöze gewissermaßen als Consequenz seiner neptunistischen Ansichten. Lomme nahm die Gährung animalischer und vegetabilischer Stoffe zu Hilfe, Teluc eine Gährung in Mineralien-Gemengen. Dolomieu suchte den Ursprung der Vulkane ohne nähere Angabe im Innern der noch nicht consolidirten Weltkruste, Vatin in chemischen Verbindungen gasförmiger, im Innern der Erdfreisender Flüssigkeiten. Breislak kam auf die Zerlegung von Eisenkiesen zurück und ließ die dadurch freiwerdende Wärme auf Kohlenflöze und Lager bituminöser Letten wirken; Przyslanowsky fand die Thätigkeit der Vulkane Italiens in Schwefelagern begründet. H. Davy, Entdecker der Metalle der Alkalien und Erden, stellte die Vermuthung auf, daß ihr Vorkommen im Innern der Erde bei Zutritt von Luft und Wasser die vulkanischen Eruptionen veranlasse. Auch Daubeny stimmt dieser Ansicht bei. Hierbei war ein Hauptfactor, daß die Vulkane nur in der Nähe des Meeres vorkämen, worüber oben bereits das Erforderliche beigebracht ist. Auch Gay-Lussac nahm die Mitwirkung des Meerwassers zu Hilfe. V. Scrope und Monticelli legten die innere Erdwärme zu Grunde und das durch die Oberfläche eindringende, in Dämpfe verwandelte Wasser sollte die Eruptionen veranlassen. Die im Erdinnern herrschende Hitze im Vereine mit dem eindringenden, in Dämpfe verwandelten Wasser dürfte ausreichen, um die Eruptionen zu erklären an den Stellen, welche den expandirenden Kräften keinen ausreichenden Widerstand entgegensetzen; die Einwirkung der Hitze auf Lager kohlenisauren Kalks würde die Entwicklung von Kohlensäure erklärlich finden lassen, nur die große Menge von Schwefel, der theils sublimirt gefunden wird, theils als schwefligsaures Gas entweicht, bedarf noch des näheren Nachweises, wofür man Lager von Schwefelkies kaum annehmen könnte.

Zum Schluß dieses Artikels führen wir die Vulkane Europa's und der Inseln des atlantischen Oceans noch namentlich auf. In Europa finden wir den Aetna, Volcano in den Liparen, Stromboli, Cyonico auf Ischia, Vesuv, Santorin, Lemnos. Diese Vulkane waren alle in bekannten historischen Zeiten noch thätig; im atlantischen Meere war dies der Fall mit dem Vulkan Gif auf der Insel Jan Reven, mit einem Vulkan auf der Eierinsel bei dem Nordcap südwestlich vom Gif; auf Island sind der Derofa, Hella, Hauda-Kamba etc. bekannt; ferner ist ein Vulkan auf der azorischen Insel Vico, auf Teneriffa und auf einer der capverdischen Inseln, nämlich auf Fogo (Fungo). G. G.

Wärme. Eine gewisse Empfindung, die durch die Lebensthätigkeit unseres Organismus fortwährend angeregt wird, die durch den Einfluß umgebender Körper, mögen wir uns mit denselben in unmittelbarer Berührung finden oder nicht, mobi-

sicirt und in ihrer Intensität gesteigert oder vermindert werden kann, bezeichnet man durch das Wort *Wärme*. Allein dieses Wort bezeichnet auch den objectiven Grund dieser Empfindung oder des Zustandes der Körper, welcher dieselbe zur Folge hat.

Die Wärme bringt nun in allen Körpern gewisse Veränderungen hervor; sie dehnt alle Körper aus und vergrößert somit ihr Volumen (s. d. Art. *Ausdehnung*); auch verändert sie den Aggregatzustand der Körper, indem sie harte Körper in flüssige, und diese wie jene in gasförmige verwandelt (s. d. Art. *Schmelzen*, *Sieden* und *Dampf*).

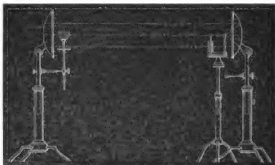
Wärme von großer Intensität heißt *Hitze*, während das Wort *Kälte* den relativen Gegenlag der Wärme bezeichnet. Ein Körper ist nicht absolut warm oder kalt, und wir können einen und denselben Körper, je nach den Umständen, bald warm, bald kalt nennen, je nach der Empfindung, die er in uns erregt, d. h. je nachdem er mehr oder weniger warm als unser Körper ist. In das erste der Fall, so pflegen wir ihn warm zu nennen, während er im zweiten Falle kalt heißt. Die vielen Abstufungen, die im Wärmezustande eines Körpers vorkommen können, nennt man *Wärmegrade*, und den jeweiligen Wärmegrad eines Körpers seine *Temperatur*. Zur Bestimmung der letzteren gebraucht man, unabhängig von der unsicheren Schätzung durch unser Gefühl, besondere Instrumente, die unter den *Artskeln Thermometer* und *Pyrometer* bestrichen sind und meist auf der durch die Wärme bewirkten Ausdehnung der Körper beruhen.

Die Temperatur eines Körpers steigt oder sinkt, je nachdem die umgebenden Körper wärmer oder kälter als er selbst sind. Kommen zwei Körper von ungleicher Temperatur einander nahe oder mit einander in Berührung, so findet eine Mittheilung von Wärme statt; die Temperatur des kälteren steigt, die des wärmeren Körpers sinkt, so lange, bis beide Körper gleiche Temperatur erlangt haben. Versetzen verschiedene Theile eines und desselben Körpers ungleiche Temperaturen, so findet gleichfalls eine Mittheilung der Wärme von den wärmeren nach den kälteren Stellen hin statt. Die Geschwindigkeit aber, mit welcher die Wärme von einem Theile eines Körpers in einen anderen Theil desselben übergeht, ist je nach der Beschaffenheit der verschiedenen Körper sehr ungleich, und in diesem Sinne spricht man von guten und schlechten *Wärmeleitern*.

Wie das Licht, so pflanzt sich auch die Wärme nach allen Eiten im Raume strahlenförmig fort. Nähert man z. B. einem erhitzten Metall oder einem mit heißem Wasser gefüllten Gefäß ein Differentialthermometer (s. d. Art.), dessen eine Kugel aber durch einen unturchsichtigen Schirm geschützt ist, so wird die unbedeckte Kugel erwärmt und die Flüssigkeit in ihr hinabsinken. Da aber der Schirm die andere Kugel gänzlich schützt, wenn er gerade zwischen dem erhitzten Körper und dieser Kugel steht, so folgt hieraus, daß die Ausstrahlung der Wärme eine geradlinige ist. Ein heißer oder warmer Körper sendet nun nach allen Richtungen Strahlen aus, welche manche Körper durchdringen, ohne sie merklich zu erwärmen, während dieselben in anderen Körpern, mit denen sie in Berührung kommen, auch wieder Wärme erregend wirken können. Bringt man ein empfindliches Thermometer dem Feuer eines Herdes bis auf eine gewisse Entfernung nahe, so bemerkt man ein beträchtliches Steigen des Quecksilbers, wenn auch die dazwischen befindliche Luft noch ganz kalt ist. Das Steigen läßt sofort nach, wenn man zwischen das Feuer und Thermometer einen Schirm bringt, so daß dasselbe also auf keinen Fall von

einer Erwärmung der umgebenden Luft herrühren kann. So wird auch im Winter von der strahlenden Wärme des Ofens das Eis der Fensterscheiben aufgethau, ehe noch die Luft im Zimmer merklich erwärmt ist; bringt man aber zwischen Ofen und Fensterscheibe einen Schirm, so bleibt das Eis an allen Stellen, von welchen die Strahlen des Ofens durch den Schirm abgehalten werden. So sendet jeder heiße oder warme Körper Wärmestrahlen aus, welche die Luft durchdringen und in anderen Körpern wieder Wärme erzeugen können.

Fallen Wärmestrahlen auf einen Körper, so können sie theils reflectirt, theils durchgelassen und auch theils absorbirt werden. Von polirten Flächen werden die Wärmestrahlen, gleich den Lichtstrahlen, regelmäßig reflectirt, so daß der Reflexionswinkel gleich dem Einfallswinkel ist. Stellt man die Kugel eines Thermometers in den Brennpunkt eines Hohlspiegels und läßt aus einiger Entfernung Wärmestrahlen auf diesen fallen, während man durch einen kleinen Schirm die Thermometerkugel gegen die unmittelbar von der Wärmequelle kommenden Strahlen schützt, so wird das Thermometer Temperaturerhöhungen anzeigen. Man kann auch zwei metallene Hohlspiegel nehmen, in den Brennpunkt des einen die Wärmequelle und in den des anderen die Thermometerkugel bringen. Sind beide Spiegel so gegen einander aufgestellt, daß ihre Axen zusammenfallen,



so werden die aus dem Brennpunkte des ersten Spiegels auf diesen kommenden Strahlen nach der Reflexion unter einander parallel auf den zweiten Spiegel fallen, und nach der Reflexion von dem letzteren in dessen Brennpunkte vereinigt werden, wie dies das Strahlen des Thermometers bekundet. Nun ist der Brennpunkt für Wärmestrahlen im Ganzen derselbe wie für Lichtstrahlen, daher wird auch der Reflexionswinkel dem Einfallswinkel, wie beim Licht, gleich sein. Durch Reflexion der im Sonnenlichte enthaltenen Wärmestrahlen vermittelt eines Hohlspiegels entsteht im Brennpunkte des letzteren eine sehr intensive Hitze, die sehr viele Körper zu schmelzen und zu verflüchtigen vermag; nur feine Körper, wie Spinnfäden und selbst dünne Fäden von Schellack bleiben in dieser Hitze unverehrt, was wohl, wie man annimmt, daher kommt, daß sie im Verhältniß zu ihrer Masse eine sehr große Oberfläche darbieten; daher können sie vermöge der an ihnen aufsteigenden kälteren Luft die Wärme ebenso rasch wieder verlieren, als sie dieselbe empfangen. Der Hohlspiegel selbst, welcher die Wärmestrahlen nach seinem Brennpunkte

reflectirt, wird während der Reflexion nicht merklich erwärmt, und zwar wird eine Erwärmung desselben um so weniger stattfinden, je besser die Reflexion an ihm von Statten geht. Gehärtete Metalle, deren Oberflächen wohl polirt sind, reflectiren die Wärme am besten.

Außer der regelmäßigen Reflexion erfahren die Wärmestrahlen, wie die Lichtstrahlen, auch noch eine unregelmäßige Reflexion, eine Zerstreuung nach allen Richtungen oder eine sogenannte Diffusion, die besonders an rauen Körpern auffällig hervortritt.

Zu denjenigen, welche sich am frühesten mit der strahlenden Wärme beschäftigt haben, gehören Mariotte*), Scheele**), Lambert***), Ring****), V. v. Ruschenbroef*****), Picot†), Rumford††), Leslie†††), Sennebier††††), Waycock†††††), Brévoix*), De la Roche**), Ritchie***), Herschel****). Von Andern wird weiterhin die Rede sein.

Melloni†*), welcher zuerst die Gesetze der strahlenden Wärme einer genauen umfassenden Untersuchung unterwarf, benutzte zu seinen Versuchen einen sogenannten Thermomultiplikator, d. h. eine Thermosäule (siehe d. Art. Thermoelectricität), die mit einem geeigneten Multiplikator (s. d. Art.) in Verbindung steht. Die umstehende Fig. 1. stellt diesen Apparat vor. MM' ist ein Tisch, auf dem in einer Nutze RR' die darauf sichtbaren Gegenstände verschoben werden können, um ihre gegenseitigen Entfernungen zu verändern. Durch einen getheilten Meterstab lassen sich diese Entfernungen messen. Die verschiedenen Wärmequellen werden auf das verschiebbare Stativ S' gesetzt, während der Schirm E'', der aus zwei Metallblechen mit einer dazwischen befindlichen Luftschicht besteht, dazu dient, um die Wärmestrahlen vor dem Versuche von der Thermosäule P abzuhalten. Im Schirme E' ist eine Oeffnung O angebracht, um stets eine bestimmte Menge Wärmestrahlen durchzulassen, und auf dem Tische S werden die verschiedenen Körper befestigt, durch welche die Wärmestrahlen hindurchgehen sollen. Weiterhin befindet sich ein Stativ, worauf die thermoelektrische (Thermo-) Säule befestigt ist. Sie besteht aus Stäbchen von Wismuth

*) Mém. de l'Acad. 1682. Traité de la nature de couleurs. Par. 1686.

**) Versuche über Luft und Feuer S. 60.

***) Pyrometrie. Berlin 1779.

****) Morsels of Criticism. Lond. 1788. p. 4.

*****) Introd. ad philos. natur. 1762. T. II.

†) Versuche über das Feuer. Deutsche Uebers. Léb. 1790. S. 56 ff.

††) Mém. sur la chaleur. Par. 1804. Phil. Trans. 1804. p. 77. Gilb. Ann. Bd. XVII. S. 33, 213.

†††) An exper. inq. into the nat. and propag. of heat 1804.

††††) Mém. de l'Acad. de Turin. Ann. T. XIII. (1805).

†††††) Richardson's Journ. Vol. XXVI. May, June 1810. Bibl. Brit. T. XLV. p. 213.

*) Journ. de phys. par de la Metherie. Ann. 1811.

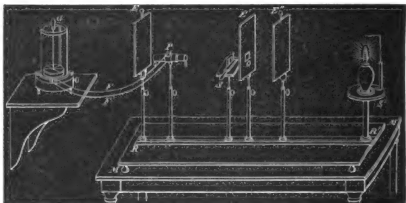
**) Journ. de phys. etc. (Ann. 1812) T. LXXV. p. 201. Annals of Phil. T. II. p. 100.

***†) Edinb. Journ. of Science. No. XIV. p. 350.

****†) Gilb. Ann. Bd. XII. S. 535 ff. Phil. Transact. 1800 u. 1820.

†*) Fogg. Ann. Bd. XXVII.; Bd. XXVIII.; Bd. XXXV.; Bd. XXXVII.; Bd. XXXVIII.; Bd. XXXIX.; Bd. XLIII.; Bd. XLVIII.; Bd. XLIX.; Bd. LI.; Bd. LII.; Bd. LIII.; Bd. LVII.; Bd. LXII.; Bd. LXV. — Sonstige Nachweisungen am betreffenden Orte.

und Antimon (32 Millimeter lang, 2,5 Millim. dick und 1 Millim. breit), deren 25 bis 35 Paare mit ihren Enden abwechselnd zusammengelötet sind. Zwei



Kupferdrähte, von denen der eine an das erste, der andere an das letzte Stäbchen angelötet ist, bilden die Enden dieser Säule, welche durch kupferne Röhren gehen und mit den Drahtenden eines empfindlichen Multiplikators, dessen Windungen von einem eisenfreien Kupferdrahte gebildet werden, in Verbindung stehen. Beistehende Abbildung zeigt eine solche Säule; in Fig. II. sieht man, wie je zwei der verschiedenen Stäbchen a, b unter schwachen Winkeln zusammengelötet sind; Fig. III.

II.

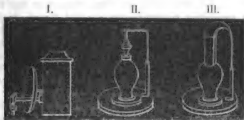
III.



zeigt die Säule im Grundriß. Doch kann die Form der Anordnung dieser Stäbchen auch so sein, wie es die Figur im Art. Thermoelectricität S. 282 darstellt. Die Stäbchen dürfen sich nur an den Lötstellen unmittelbar berühren, daher durch Seide und Firniß die sonstige Berührung verhütet ist. Die isolirte Thermosäule geht durch einen Kupfertring, zu dessen beiden Seiten ein kupfernes, außen polirtes und inwendig geschwärztes Röhrchen angebracht ist. Hinter der Säule befindet sich noch ein Schirm E, gleich dem durch E" bezeichneten, um, wenn das Röhrchen der Säule hinten offen ist, die letztere vor dem Einflusse äußerer Strahlungen zu schützen. — Eine Temperaturdifferenz an den entgegengesetzten Enden der Säule veranlaßt nun einen elektrischen Strom, der eine Ablenkung der Magnetnadel im Multiplikator G bewirkt, und die Ablenkungen der Nadel sind bis zu etwa 20° jener Temperaturdifferenz proportional.

Als Wärmequelle benutzt Melloni entweder eine Vocatellische Lampe, d. h.

eine Oellampe mit quadratischem Docht und einem Reflector, aber ohne Glashornstein (f. Fig. I.), oder eine Platinspirale, die über einer Weingeistflamme hängend glühend bleibt, nachdem die Lampe ausgeblasen (Fig. II.), oder ein über derselben Lampe bis auf 400° erhitztes Kupferblech (Fig. III.), oder ein geschwätztes kupfernes Gefäß mit siedendem Wasser.



Um einen Begriff zu geben von der Empfindlichkeit eines solchen Instruments, siehe hier die Berechnung über die Empfindlichkeit eines Thermomultiplikators von Nobili. Nobili*) verglich seine Wirkung mit dem Differentialthermometer von Redlie. Letzteres zeigte, dem freien Himmel eine Nacht hindurch ausgesetzt, eine durch Wärmestrahlung bewirkte Aenderung der flüssigen Säule von 30 bis 50 Graden der Theilung; bei dem Thermomultiplikator machte die Nadel während einer solchen Nacht eine Bewegung von 120° und mehr. Jedem Grade des Differentialthermometers entspricht $\frac{40}{25}$ R., und man kann noch recht gut halbe Grade auf dem Instrumente angeben, so daß seine Empfindlichkeit bis auf $\frac{10}{25}$ R. reicht. Eine Temperaturveränderung, die am Thermomultiplikator eine Abweichung von 25° hervorbringt, ist am Aethrioskop gar nicht wahrzunehmen. Man kann sie also immer gleich $\frac{10}{50}$ R. sehen. Auf der Scheibe des Galvanometers lassen sich aber recht gut halbe Grade wahrnehmen, also ist die Nadel noch empfindlich für $\frac{10}{50 \cdot 50} = \frac{10}{2500}$ R. Diese Empfindlichkeit läßt sich aber auf das Doppelte erhöhen, weil man die Polardrähte des Instruments verwechseln, und die Bewegung der Nadel auf das Doppelte rückgängig machen kann. Es läßt sich also die Empfindlichkeit dieses Instrumentes $= \frac{10}{5000}$ R. setzen.

Soll nun mit dem Apparate Melloni's experimentirt werden, so wird der z. B. auf seine Wärmedurchlassung zu untersuchende Körper auf den Träger S gelegt und der Schirm E' zurückgeschlagen. Jetzt hat ein Theil der Wärmestraahlen freien Durchgang durch die Oeffnung O der Platte E', und gelangt zur Vorderseite der Säule. Durch den Ausschlag der Nadel bestimmt sich nun die Intensität der einfallenden Wärmestraahlen. — Zuerst mußte die Ueberzeugung

*) Pogg. Ann. Bd. XXVII. S. 435.

gewonnen werden, daß die Erwärmung der auf dem Träger S befindlichen Platte nicht auf den Thermomultiplicator einwirke, oder daß die Anzeigen des letzteren nur von den durchgelassenen Wärmestrahlen herrühren. Steht die Platte hinter der Oeffnung O, so wird eine bestimmte von der Natur der gewählten Platte abhängige Menge Wärmestrahlen auf die thermoelektrische Säule fallen, und die Nadel bis auf eine bestimmte Weite ablenken. Rückt man nun die Säule ein wenig aus den unmittelbar durchgegangenen Strahlen heraus, so daß die Oeffnung ihrer Hülle aber stets gegen die Lamelle hin gerichtet ist, bei unverändertem Abstände von dieser, so wird der Ausschlag der Nadel allmählig kleiner, und verschwindet ganz, sobald die Hülle vollständig aus dem Wärmestrahlenfeld herausgerückt ist. Da man kann auch die Säule, nachdem sie aus dem Wärmefeld herausgerückt ist, der Platte um mehrere Centimeter nähern und letztere sogar um ihre verticale Axe drehen, so daß sie mit ihrer ganzen Fläche gegen das Ende der Säule gerichtet ist, ohne auch nur die mindeste Bewegung der Nadel wahrzunehmen. Auch kann man sich von der Wahrheit dieser Behauptung, daß die Erwärmung der Platte nicht auf die Thermosäule wirkt, überzeugen, wenn man an die Stelle der durchsichtigen Glasplatte eine mit Tusche geschwärzte setzt. Die Nadel wird nicht abgelenkt, ungeachtet, daß die Erwärmung größer ist, als in der farblosen. Man kann auch durch gehörige Entfernung der Platte vom Thermomultiplicator diesen Fehler, wenn er noch da wäre, hinwegchaffen, muß sich dann aber hüten, nicht durch zu große Annäherung der Platte an die Wärmequelle sie zu stark zu erhitzen. Der beste Platz, den sie zwischen der Säule und der Wärmequelle einnehmen, auf dem sie also zugleich am wenigsten erwärmt wird und den geringsten Einfluß auf die Säule ausüben kann, ist, wie eine einfache Rechnung durch Bestimmung des kleinsten Werthes ergiebt, die Mitte zwischen beiden. Alle diese Vorsichtsmaßregeln sind von Melloni aufs sorgfältigste beobachtet, so daß die Schärfe seiner Versuche nichts zu wünschen übrig läßt. — Die Ablenkung der Nadel ist aber nicht proportional den Kräften, welche auf sie wirken, und nur bei kleinen Bogen kann man, ohne einen Fehler zu begehen, diese Voraussetzung machen. Melloni fand durch Versuche, daß er ohne Fehler obige Annahme bis zum 20° konnte gelten lassen; darüber hinaus mußte er aber die den verschiedenen Kräften entsprechenden Ablenkungen berechnen. Er ließ nämlich auf das eine Ende der Säule eine Wärmequelle ihre Strahlen senden, welche die Nadel bis zum 24° Grad, und dann auf das andere Ende eine andere, welche die Nadel nur bis 20° ablenkte. Wären nun die Kräfte proportional der Ablenkung oder dem durchlaufenen Bogen, so hätte die Nadel, wenn beide Quellen auf beide Enden wirkten, eine Ablenkung von 4° nach der ersten Seite zeigen müssen, aber statt dessen war die Ablenkung $5^\circ,12$. Es gehört also, um die Nadel von 20° bis zu 24° zu bewegen, eine Kraft, welche die auf 0° stehende Nadel bis $5^\circ,12$ ablenkte. So fand er durch Versuche die Kräfte, welche nöthig waren, um die Nadel Differenzen verschiedener Lagen durchlaufen zu lassen.

Der Bogen zwischen 20° und 24° entsprach $5^\circ,12$ von 0° aus

"	"	"	24	"	28	"	6,44	"	"
"	"	"	28	"	32	"	8,00	"	"
"	"	"	32	"	36	"	9,92	"	"
"	"	"	36	"	40	"	12,44	"	"
"	"	"	40	"	44	"	19,04	"	"

Weiter als bis 44° dehnte er diese Versuche nicht aus, da er seine Versuche mit sehr durch die Entfernung geschwächten Strahlen anstellte, und die Nadel nicht über diese Grenze hinausging.

Für die zwischenliegenden Grade war es nun leicht, die zugehörigen Kräfte zu berechnen, und es ergab sich folgende Tafel, mit Hülfe deren er also stets die zu den Ausschlägen gehörigen Kräfte bestimmte.

Grade	Kräfte	Grade	Kräfte	Grade	Kräfte
20°	20,0	29°	33,4	38°	55,4
21	21,1	30	35,3	39	58,5
22	22,3	31	37,4	40	61,9
23	23,7	32	39,6	41	65,5
24	25,1	33	41,8	42	69,3
25	26,6	34	44,1	43	73,2
26	28,2	35	46,7	44	78,0
27	29,9	36	49,5	45	83,2
28	31,6	37	52,4		

Wenden wir uns nun zu seinen Versuchen und den Resultaten derselben. Auf eine auffallende Weise zeigte sich bald, daß nicht alle Körper von einer gleichen Quantität auffallender Wärme gleichviel durchlassen. Melloni hat die Resultate seiner Versuche selbst in folgender Tafel zusammengestellt.

Namen der Körper	Ablenkung des Galva- nometers	Durchge- lassene Strahlen
Tafel I.		
Farblose Gläser; gemeinschaftliche Dike 1mm,85.		
Rein Schirm	30°,00	100
Kluntglas von Guinand	22,90	67
„ englisches	22,43	65
„ französisches	22,36	64
„ andere Art	22,19	64
Spiegelglas	21,89	62
„ andere Art	21,10	60
„ andere Art	20,78	59
Kronglas, französisches	20,58	58
Feinstes Glas	19,25	54
„ andere Art	18,56	52
„ andere Art	17,83	50
Kronglas, englisches	17,22	49

Tafel II.
Flüssigkeiten; gemeinschaftliche Dike 9mm,31.

Spiegelglas	19,10	53
Schwefelkohlenstoff (farblos)	21,96	63
Chlorschwefel, fast rothbraun	21,83	63
Phosphorchlorür, farblos	21,80	62
Chlorkohlenwasserstoff, farblos	13,27	37
Außöl, gelb	11,10	31
Terpentinöl, farblos	10,83	31
Rosmarinöl, farblos	10,46	30

Namen der Körper	Ablenkung des Galva- nometers	Durchge- lassene Strahlen
Kübel, gelb	109,38	30
Olivendöl, grüngelb	19,33	30
Natürliche Naphta, schwach braungelb	9,77	28
Gerstenbalsam, merklich gelbbraun	9,39	26
Lavendöl, farblos	9,28	26
Veisendöl (sehr schwach gelblich)	9,26	26
Rectifizierte Naphta, farblos	9,10	26
Schwefeläther, farblos	7,89	21
Reine Schwefelsäure, farblos	6,15	17
Roethäuser Vitriöl, merklich braun	6,09	17
Ammoniaklösung, farblos	5,47	15
Reine Salpetersäure, farblos	5,36	15
Absoluter Alkohol, farblos	5,30	15
Kalhydrat, farblos	4,63	13
Rectifizierte Essigsäure, farblos	4,25	12
Brenzliche Holzäure, schwach bräunlich	4,28	12
Zuckerwasser, farblos	4,20	12
Klaumlösung, farblos	4,16	12
Salzwasser, farblos *)	4,15	12
Eisweiss, schwach gelb	4,00	11
Destillirtes Wasser	3,80	11

Tafel III.

Kryallisierte Körper; gemeinschaftliche Dichte 200,62.

Eisenglas	21,60	62
Steinsalz, klar	28,46	92
Kalkspath, klar	21,80	62
anderer, klar	21,30	61
Bergkrysal, farblos, klar	21,61	62
Rauchtopas, stark braun, klar	20,25	57
Brasilianischer Topas, farblos, klar	19,18	54
Weissbleierz, klar	18,35	52
Weisser Achat, durchscheinend	12,48	35
Schwerspath, klar, schielend gestreift	11,72	33
Aquamarin, klar, schwach blau	10,16	29
Gelber Achat, durchscheinend	10,10	29
Borax, durchscheinend	9,87	28
Turmalin, klar, grün	9,54	27
Ambular, klar, schielend gestreift	8,30	24
Opas, klar	7,15	20
Fluöspath, klar, schielend gestreift	5,40	15
Citronensäure, klar	5,15	15
Sardonyx, durchscheinend	4,98	14
Kohlenfaures Ammoniak, klar, schielend gestreift	4,50	13
Weinsaures Kali-Natron, klar	4,40	12
Klann (Alun de glace), klar	4,36	12
Schwefelsaures Kupfer, klar, stark blau	0,00	0

*) Zu dieser Lösung wurde recht reines Steinsalz angewandt und das Wasser völlig gesättigt.

Namen der Körper	Ablenkung des Galva- nometers	Durchge- lassene Strahlen
Tafel IV.		
Gefärbte Gläser; gemeinschaftliche Dicke 1 mm, 85.		
Dunkelviolet	18°, 62	33
Gelblich roth (plaque)	18, 58	33
Purpuroth (dito)	18, 10	31
Lebhaft roth	16, 34	47
Blau violett	16, 08	43
Orangeroth	13, 49	44
Gelblau	13, 00	42
Dunkelgelb	14, 12	40
Schön gelb	12, 08	34
Goldgelb	11, 75	33
* Dunkelblau	11, 60	33
* Arfelgrün	9, 13	26
Mineralgrün	8, 20	23
Sehr dunkelblau	6, 88	19

Die Ablenkung bei freier Strahlung ohne Schirm betrug stets 30° , und die bei dieser Ablenkung auffallenden Wärmestrahlen wurden gleich 100 gesetzt. Leicht ist es nun, mit Hülfe der S. 621 angeführten Tafel die zu jeder Ablenkung gehörigen Wärmestrahlen bezogen auf die gleich 100 gesetzte Gesamtstrahlung zu berechnen. Ebenso ist das Verfahren bei den Versuchen, deren Resultate Taf. III. und IV. enthält. Bei den Versuchen mit Flüssigkeiten ist aber eine andere Art und Weise nöthig. Es bedarf eines Gefäßes mit genau parallelen Wänden, und da dieses schwierig zu erhalten, so half sich Melloni auf folgende Art, denn selbst Metallröhren mit eingekitteten Gläsern sind unbrauchbar wegen der auflösenden Kraft verschiedener Flüssigkeiten. Er ließ in mehrere recht dicke Stücke unbeschnittenen Spiegelglases 2 Centimeter breite und 9 Centimeter lange Oeffnungen ausschneiden, und belegte ihre Seiten mit dünnen Platten von Spiegelglas, welche noch dazu durch zwei Metallrahmen auf jeder Seite festgehalten wurden. In die Oeffnung des mittelften Glases ward nun die Flüssigkeit gebracht und dann der Strahlung ausgesetzt. Um die Resultate der verschiedenen Tafeln mit einander vergleichen zu können, ist die Menge der Strahlen angegeben, welche ein unter gleichen Umständen sich befindendes Spiegelglas durchläßt. So war das Glas in der zweiten Tafel von dem nämlichen dicken Spiegelglase, aus dem die durchlöchernten Stücke geschnitten waren, hatte also genau die Dicke der flüssigen Schichten, und stand wie diese in Berührung mit den beiden Seitengläsern. Da aber durch diese Seitengläser schon ein Theil der Wärme aufgefangen wurde, so ward die Lampe so weit genähert, bis sie durch alle drei Gläser hindurch eine Ablenkung von 19° erzeugte, welche das Spiegelglas, allein der freien Strahlung ausgesetzt, hervorbrachte.

Wir sehen in obiger Zusammenstellung viele Körper, welche, obwohl gefärbt, doch mehr Wärmestrahlen durchlassen, als andere farblose. So läßt der ziemlich dunkelrothbraune Chlorschwefel mehr Wärmestrahlen durch, als das viel hellere Ruß-, Oliven- und Rüböl, und letztere wieder mehr als ganz farblose Schwefelsäure, Salpetersäure, Aether, Alkohol und Wasser. Ebenso verhält es sich auch

mit festen Körpern. Den auffallendsten Beweis hierzu giebt der rauchfarbene Bergkrystall oder Rauchtopaß und der Alaun. Es läßt der sehr stark braune Rauchtopaß 57, und der ganz klare wasserhelle Alaun nur 12 Strahlen durch, wenn beide Körper die Dicke 2^{mm},62 haben, und die Menge der einfallenden Strahlen gleich 100 gesetzt wird. Selbst als Melloni einen Rauchtopaß von 86 Millimeter Dicke, der so dunkel gefärbt, daß man nicht einmal beim hellen Tageslichte darunter gelegte Schriftzüge erkennen konnte, anwandte, wurde die Nadel noch bis auf 19° abgelenkt, während durch eine nur anderthalb Millimeter dicke sehr klare Alaunplatte nur eine Abweichung von 6° erhalten wurde. Auch schwarzes ganz undurchsichtiges Glas läßt noch Wärmestrahlen hindurch.

Da nun das Vermögen der Körper, Wärmestrahlen durchzulassen, in keiner bestimmten Beziehung zu ihrer Durchsichtigkeit steht, so schlug Melloni vor, nach Analogie der Worte transparent oder diaphan für Licht, Körper, welche sich auf ähnliche Weise gegen die Wärme verhalten, diathermane (transcalorische) zu nennen, diejenigen Körper dagegen, welche keine Wärme durchlassen, athermane. Die Eigenschaft der Körper, überhaupt Wärmestrahlen durchzulassen, nennt man hiernach Diathermanität (s. d. Art.).

Die Menge der durchgelassenen Strahlen ändert sich bei allen Substanzen, mit Ausnahme einer einzigen, wenn die Dicke derselben zunimmt, und auch mit Veränderung der Wärmequelle. So wurden vier Stücke eines Spiegelglases von der Dicke 1, 2, 3, 4 angewandt und nachstehende Resultate erhalten. Die Nadel ward durch freie Strahlung auf 30° abgelenkt und dann die Glasplatte dazwischen gestellt.

Dicke der Glaschirme	Ablenkung des Galvanometers	Entsprechende Kräfte
2 ^{mm} ,068	21°,625	21,850
4,136	20,312	20,343
6,202	19,687	19,687
8,272	19,375	19,375

Die Kraft, welche der freien Strahlung 30° entspricht, ist 35,3. Dividirt man also die Zahlen der dritten Columnne durch 35,3, so erhält man das Verhältniß der durchgelassenen Strahlung zur einfallenden. Der Unterschied zwischen jedem dieser Quotienten und der Einheit giebt den entsprechenden Verlust. Setzt man nun die gesammte Strahlung = 1000, so ergeben sich

Ordnungszahl der Schirme	Durchgelassene Strahlen	Aufgefangene Strahlen
1	619	381
2	576	424
3	558	442
4	549	451

Es ist also hiernach die Abnahme der durchgelassenen Strahlen nicht proportional der wachsenden Dicke der Gläser. Man kann hieraus schließen, daß ein

Körper um so leichter von Wärmestrahlen wird durchdrungen werden, wenn sie aus einem anderen ihm gleichen austreten (s. hierüber weiter unten). Eben dasselbe zeigt sich auch bei Flüssigkeiten, denn Schichten Rüböl von verschiedener Dicke gaben,

Dicke der Flüssigkeitsschicht.	Durchgelassene Strahlen.	Aufgefangene Strahlen.
6mm,767	443	557
13,535	363	637
27,069	294	706
54,139	270	730
81,209	255	745
108,279	244	756

wenn man ganz dieselbe Operation mit den erhaltenen Ausschlägen der Nadel vornahm, wie bei den festen Körpern.

Nur einen einzigen Körper giebt es, der bei jeder Dicke stets eine gleiche Anzahl von Strahlen durchläßt, nämlich das Steinsalz. Von 100 aufgefallenen Strahlen läßt es nämlich stets 92 durch, diese Strahlen mögen beschaffen sein, wie sie wollen.

Aber nicht nur mit der Dicke der angewandten Substanz, sondern auch mit der Veränderung der Wärmequellen ändert sich die Menge der durchgelassenen Strahlen, und diese Menge scheint um so größer zu sein, je höher die Temperatur der Wärmequelle ist. Es mögen hier die von Melloni aufgefundenen Resultate angeführt werden. Er bewirkte durch Annäherung oder Entfernung der Wärmequelle stets einen Ausschlag der Nadel des Galvanometers von 30°, und aus dem verringerten Ausschlag nach Zwischenstellung der Platten ward die Anzahl der durchgelassenen Strahlen, die der auffallenden = 100 gesetzt, berechnet. Die angewandten Wärmequellen sind die früher erwähnten.

Dicke der Glascheiben.	Durchlässe des Glases auf 100 Wärmestrahlen			
	der Locatelli- schen Lampe.	des glühenden Platins.	des geschwärzten bis 390° C. erhitzten Kupfers.	des geschwärzten bis 100° C. erhitzten Kupfer- gefäßes *).
0mm,07	77	57	34	12
0,5	54	37	12	1
1	46	31	9	0
2	41	25	7	0
4	37	20	5	0
6	35	18	4	0
8	33,5	17	3,4	0

Man sieht bei einem Blick auf diese Tafel, daß die Anzahl der von einer Substanz bei derselben Dicke durchgelassenen Strahlen abnimmt mit der Temperatur der Wärmequelle. So ist es nicht nur beim Glase, sondern mit allen

*) Es ist das Gefäß mit kiedendem Wasser gemeint.

übrigen von Melloni untersuchten Körpern, mit Ausnahme des Steinsalzes, wie folgende Tafel zeigt.

Dazwischen gesetzte Substanzen, gemeinsame Dicke 2mm,6.	Durchgelassen von 100 Wärmestrahlen			
	der Locatelli'schen Lampe	des glühenden Platin	des bis 390° C. erhitzten und geschwärtzten Kupfers	des bis 1000° C. erhitzten und geschwärtzten Kupfers
Steinsalz, klar farblos	92	92	92	92
Flußspath, klar farblos	78	69	42	33
Steinsalz, durchsichtig, schielend	65	65	65	65
Beryll, klar grüngelb	54	23	13	0
Flußspath, klar grünlich	46	38	24	20
Kalkspath, klar farblos	39	28	6	0
„ anderer, klar farblos	38	28	5	0
Spiegelglas, klar farblos	39	24	6	0
Spiegelglas, anderes, klar farblos	38	26	5	0
Bergkry stall, klar farblos	38	28	6	0
Rauchtopas, klar braun	37	28	6	0
Saures chromsaures Kali, klar, lebhaft orange	34	28	15	0
Topas, klar farblos	33	24	4	0
Weißbleierz, klar farblos	32	23	4	0
Schwerspath, klar schwach schielend	24	18	3	0
Achat, durchscheinend weiß	23	11	2	0
Acular, klar schielend gestreift	23	19	6	0
Amethyst, klar violett	21	9	2	0
Künstlicher Bernstein, klar gelb	21	5	0	0
Aquamarin, klar blaugrün	19	13	2	0
Achat, durchscheinend gelb	19	12	2	0
Vorax, durchscheinend weiß	18	12	8	0
Turmalin, klar dunkelgrün	18	16	3	0
Elfenhorn, durchscheinend rußbraun	18	4	0	0
Gemeines Gummi, klar gelblich	18	3	0	0
Schwerspath, klar schielend gestreift	17	11	3	0
Gyps, klar farblos	14	5	0	0
Cardonyx, durchscheinend braun	14	7	2	0
Citronensäure, klar farblos	11	2	0	0
Kohlensaures Ammoniak, klar schielend gestreift	12	3	0	0
Weinsaures Kali-Natron, klar farblos	11	3	0	0
Natürlicher Bernstein, durchscheinend gelb	11	5	0	0
Alaun, klar farblos	9	2	0	0
Leim, klar gelbbraun	9	2	0	0
Perlmutt, durchscheinend weiß	9	0	0	0
Kandis, klar farblos	8	0	0	0
Flußspath, durchscheinend grün	8	6	4	3
Geschmolzener Zucker, klar gelblich	7	0	0	0
Eis, sehr rein, klar farblos	6	0	0	0

De la Roche *) beobachtete zuerst, daß die Strahlen einer Wärmequelle, deren Temperatur geringer ist als die des siedenden Wassers, nur in sehr geringer Menge durch eine Glasplatte gehen, daß sie dagegen um so leichter hindurchgehen, je mehr die Temperatur der Wärmequelle steigt, oder je mehr leuchtende Strahlen dieselbe enthält.

Die Ordnung, in welcher die verschiedenen Stoffe nach ihrem Durchlassungsvermögen für die Strahlen einer Vocatellischen Lampe geordnet sind, bleibt nicht dieselbe, wenn anstatt dieser Wärmequelle eine andere substituiert wird; indeß stets ist die Anzahl der durchgelassenen Strahlen geringer, je niedriger die Temperatur der Wärmequelle ist. Nur das Steinsalz läßt von 100 Strahlen stets 92 durch, und auch für mehrere hinter einander gelegte Stücke desselben, die zusammen eine Dicke von 86 Millimeter gaben, war die Menge der durchgelassenen Strahlen bei allen vier Wärmequellen gleich. Es ist für die Wärme das Steinsalz also der allein farblose Körper, während alle anderen wie farbige Mittel auf das Licht wirken, sie fangen die Strahlen gewisser Wärmequellen auf, lassen aber die Strahlen anderer durch. Nach de la Brevoïste und Desains soll auch das Steinsalz weniger durchdringlich sein für strahlende Wärme aus Quellen von niederer Temperatur als für die aus Quellen von höherer Temperatur. Nach Melloni darf man aber hieraus nicht schließen, daß das Steinsalz nicht alle Arten von Wärme gleich gut durchlasse. Man kann sich, wie er bemerkt, mit Hilfe des Thermomultiplicators leicht von der Constanz der Durchdringlichkeit des Steinsalzes für alle Arten von strahlender Wärme überzeugen. Die Strahlung des bis zum Siedepunkt des Wassers erhitzten Kupfers durchdringt das Steinsalz in demselben Verhältniß, wie die Strahlung des fast zur Rothgluth gebrachten Kupfers, welches wieder durch dieselbe Substanz so viel strahlt, wie die Flamme und das glühende Platin **). — Zantedeschi ***) fand sogar, im Gegentheile zu de la Brevoïste und Desains, das Steinsalz diathermaner für Strahlen niederer als für solche höherer Temperatur. Es fragt sich noch, ob fremdartige Beimengungen oder andere Einflüsse die Verschiedenheit dieser Resultate bedingten. Doch scheint das Steinsalz nicht ganz in der Art diatherman zu sein, wie Melloni behauptet (s. weiterhin).

Es ist aber der Quantitätsunterschied der durchgelassenen Strahlen bei den verschiedenen Körpern nicht der einzige, sondern es wirken die verschiedenen Körper ganz wie farbige Mittel auf Lichtstrahlen, indem die aus der einen Platte austretenden für eine andere dahinter stehende mehr oder weniger durchdringlich sind. Läßt man durch verschiedene Platten Wärmestrahlen durchgehen, bringt durch Annäherung der Vocatellischen Lampe vermittlest der durchgelassenen Wärmestrahlen stets eine Abweichung der Nadel von 30° hervor, und läßt dann die durchgegangenen Wärmestrahlen auf eine Alaunplatte fallen, so werden, obwohl die Menge der aus der ersten Platte austretenden Wärmestrahlen gleich gemacht ist, doch sehr verschiedene Mengen von der Alaunplatte durchgelassen. Dies zeigt folgende Tafel.

*) Observations sur le calorique rayonnant. Journ. par de la Moëtherie 1812. T. LXXV. p. 201.

**) Compt. rend. T. XXXVI. p. 84. Pogg Ann. Bd. LXXXIX. S. 84.

***) Sitzungsber. der Wiener Akad. Bd. XXIV. S. 43.

Schirme, aus denen 100 Wärmestrahlen treten, die nun successiv auf eine und dieselbe Alaunplatte fallen.	Anzahl der von dieser Alaunplatte durchgelassenen Strahlen.
Kein Schirm	9
Steinsalz, klar	9
Steinsalz, schiebend	9
Borax	11
Adular	14
Kalkspath	22
Bergkry stall	28
Spiegelglas	27
Kohlensaures Ammoniak	31
Gyps	72
Weinsaures Kali-Natron	80
Citronensäure	88
Alaun	90

Es haben also die durch verschiedene Platten durchgegangenen Strahlen ganz die Eigenschaften der Lichtstrahlen, die aus einem farbigen Mittel austreten, und durch eine zweite durchsichtige und farbige Substanz in größerer oder geringerer Menge hindurchdringen, je nachdem die Farbe des ersten Mittels der des zweiten mehr oder weniger analog ist. Nur Steinsalz hat keine Veränderung der durchgegangenen Wärmestrahlen bewirkt, es ist also auch in dieser Beziehung für die Wärme farblos.

Melloni kehrte die Versuche um, indem er die zu einer Alaunplatte ausfahrenden Strahlen mit Platten anderer Substanz auffing. Statt des Alauns nahm er auch Gyps u., und erhielt folgende Resultate. Nach dem Durchgang durch die erste Platte betrug die Strahlung stets 30°.

Namen der dazwischen aufgestellten Substanzen. Dicke der Platten, wo sie nicht eigends anders angegeben, 2mm, 6.	Durchgelassen von 100					
	unmittelbar. Strahlen der Lampe	zum Alaun ausfahrend. Strahlen (Dicke 2mm, 6)	zum Gyps ausfahrend. Strahlen (Dicke 2mm, 6)	zum chroms. Kali ausfahrenden Strahlen (Dicke 2mm, 6)	zum grünen Glase ausfahrenden Strahlen (Dicke 1mm, 88)	zum schwarzen Glase ausfahrenden Strahlen (Dicke 1mm, 88)
Steinsalz	92	92	92	92	92	92
Flußspath	78	90	91	88	90	91
Beryll	34	80	91	66	70	57
Kalkspath	39	91	89	56	59	55
Glas, Dicke 0mm, 8	34	90	85	68	87	80
Glas, Dicke 8mm	34	90	82	47	38	45
Bergkry stall	38	91	85	82	78	54
Saures chromsaures Kali	34	57	53	71	28	24
Schwerspath	24	36	47	25	60	57

	Durchgelassen von 100					
	unmittelbar, Strahlen der Lampe	zum Alaun ausfahrend. Strahlen (Dicke 2mm, 6).	zum Gyps ausfahrend. Strahlen (Dicke 2mm, 6).	zum dreim. Kali ausfahrenden Strahlen (Dicke 2mm, 6).	zum grünen Glase ausfahrenden Strahlen (Dicke 1mm, 85).	zum schwarzen Glase ausfahrend. Strahlen (Dicke 1mm, 85).
<p>Namen der dazwischen aufgestellten Substanzen. Dicke der Platten, wo sie nicht eigends anders angegeben, 2mm, 6.</p>						
Weißer Achat	23	70	78	30	43	17
Quar	23	23	58	43	50	23
Bernstein	21	63	61	20	13	8
Schwarzer opaker Glimmer, Dicke 0mm, 9	20	0,4	12	16	38	43
Gelber Achat	19	57	64	21	35	14
Aquamarin	19	60	57	26	20	21
Topas	18	23	33	23	30	24
Grüner Turmalin	18	1	10	14	24	30
Gemeines Gummi	18	61	52	12	6	4
Gyps	14	59	54	22	9	15
(Dicke 12mm).	10	36	43	17	5	0,4
Kohlensaures Ammoniak	12	41	34	11	6	5
Citronensäure	11	88	52	16	3	2
Weinsaures Kali-Natron	11	85	60	15	2	1
Alaun	9	90	47	15	0,5	0,3
Farbige Gläser, jedes 1mm, 85 dick.						
Weißes Glas	40	90	83	50	67	55
Violettes Glas	34	76	72	42	56	47
Roths Glas	33	74	69	41	54	45
Orangefarbenes Glas	29	65	58	36	48	39
Apfelgrünes Glas	25	3	20	22	55	50
Mineralgrünes Glas	23	1	15	19	52	58
Gelbes Glas	22	49	46	27	35	30
Blaues Glas	21	47	42	26	34	29
Undurchsichtig schwarzes Glas	16	0,5	18	11	42	52
Indigfarbenes Glas	12	27	26	14	20	17

Wir finden auch hier wieder, daß die Körper, wenn sie den aus Platten austretenden Wärmestrahlen ausgesetzt werden, nicht mehr dieselbe Ordnung des Wärmedurchlasses beibehalten, welche sie unter der unmittelbaren Strahlung der Lampe zeigen. Am meisten durchdringlich werden die Strahlen für einen Körper derselben Substanz, durch welche sie schon gegangen sind. So gehen freie Strahlen von 100 nur 9 durch den Alaun, während von 100 aus einer Alaunplatte getretenen 90 die folgende durchdringen. Und dieser Verlust rührt nicht einmal ganz von der Absorptionskraft des Alauns, sondern zum größten Theil von der Reflexion der Wärmestrahlen an beiden Flächen her.

Hierin liegt auch der Grund, warum bei verschiedener Dicke der Platten die

Menge der aufgefundenen Strahlen nicht proportional der Dicke abnimmt. Denkt man sich den dicksten jener vier Glasschirme in der Tafel S. 624 in vier gleich dicke getheilt, so sind die einfallenden Wärmemengen respective auf diese vier ideellen Schirme

	1000	619	576	558
und die bei dem Durchgang verlorene Strahlenmenge ist	381	424 — 381	442 — 424	451 — 442
d. h.	381	43	18	9

Also hat man für den Verlust in jedem der ideellen Schirme, bezogen auf die einfallenden Strahlen,

	$\frac{381}{1000}$	$\frac{43}{619}$	$\frac{18}{576}$	$\frac{9}{558}$
oder	0,381	0,071	0,031	0,016

Es verringern sich die Verluste also sehr schnell, wenn die Dicke um eine constante Größe zunimmt. Ganz ähnlich sind die bei Flüssigkeiten gefundenen Resultate.

De la Roche hatte schon gefunden, daß Wärmestrahlen, die eine Glasplatte durchdrangen, in einer zweiten viel weniger absorbiert werden. Melloni zeigte, daß dieses Gesetz noch gültig ist bei mehreren Glastafeln. Er nahm 4 Stück Spiegelglas von 2^{mm},068 Dicke, und erhielt, wenn er die Anzahl der Schirme vermehrte, folgende Ablenkungen:

Anzahl der Schirme.	Ablenkungen des Galvanometers.	Von 1000 Strahlen	
		Durchgelassen.	Aufgefangen.
1	21°,62	619	381
2	18,78	531	469
3	17,10	484	516
4	15,90	450	550

Berechnet man hieraus die Verluste, welche die Strahlen beim successiven Durchgange durch die vier Glasscheiben erleiden, aber bezogen auf die Menge der auf jede einfallenden Strahlen, so findet man

0,381	0,134	0,087	0,058.
-------	-------	-------	--------

Der Verlust ist hier offenbar größer als bei den ideellen vier Glasschichten; indes der Grund liegt nahe. Es bilden diese vier Platten hier kein Ganzes, sondern zwischen ihnen ist Luft, so daß die Wärme durch die Reflexion an mehreren Flächen sich mehr zerstreuen kann.

Beim Durchgange durch Platten erleiden die Wärmestrahlen nicht bloß eine Veränderung ihrer Durchdringlichkeit für andere Platten, sondern auch nach B. Powell eine größere oder geringere Fähigkeit in verschiedener Menge von weißen und schwarzen Flächen absorbiert zu werden. Er nahm zwei gleich empfindliche Thermometer, bemalte die Kugel des einen weiß und die des anderen schwarz. B. Powell fand das Absorptionsverhältniß zwischen dem schwarzen und weißen Thermometer bei glühendem Eisen als Wärmequelle = 100 : 78, und bei einer Argand'schen Lampe = 100 : 72. Bei einer durch eine Glasplatte gegangenen Strahlung wurden diese Verhältnisse 100 : 50, und 100 : 57. Noch leichter ist die von Melloni angewandte Methode, daß eine Ende seiner

Säule schwarz und das andere weiß zu bemalen. Man braucht dann nur einen thermoskopischen Körper. Seine Resultate sind denen von Powell ganz analog. Die jedesmal auf der schwarzen Fläche hervorgebrachte Wirkung ist durch 100 dargestellt.

Strahlende Wärme der Locatellischen Lampe, direct oder durch verschiedene Schirme gegangen.	Absorptionskraft der schwarzen | weißen Fläche.	
Directe Strahlen der Lampe	100	80,5
Durchgelassene vom Steinsalz	—	80,5
„ „ Alaun	—	42,9
„ „ farblosen Glase	—	54,2
„ „ hellrothen Glase	—	60,6
„ „ dunkelrothen Glase	—	77,8
„ „ hellgelben Glase	—	55,5
„ „ dunkelgelben Glase	—	63,6
„ „ hellgrünen Glase	—	67,4
„ „ dunkelgrünen Glase	—	70,5
„ „ hellblauen Glase	—	61,0
„ „ dunkelblauen Glase	—	66,9
„ „ hellvioletten Glase	—	67,6
„ „ dunkelvioletten Glase	—	76,7
„ „ undurchsichtigen schwarzen Glase	—	84,6

Also auch hier ändert das Steinsalz die Eigenschaften der strahlenden Wärme nicht. Alaun ändert das Verhältniß zwischen der Absorption beider Flächen bedeutend ab. Die Wirkung der farbigen Gläser ist desto schwächer, je dunkler ihre Farbe ist, und dies zeigt sich am auffallendsten sogar noch an dem ganz undurchsichtigen schwarzen Glase, indem die hindurchgegangenen Wärmestrahlen selbst stärker von der weißen Fläche absorbiert werden, als die unmittelbaren Strahlen der Lampe.

Auch durch die Farbe werden Veränderungen in der Menge der durchgelassenen Wärmestrahlen bewirkt, aber die Menge der durchgelassenen Strahlen ist bei den farbigen Gläsern immer kleiner, als bei farblosen, wenn beide gleiche Dicke haben.

Glasschirme, ausgesetzt der Strahlung einer Locatellischen Lampe, jeder 1mm,85 dick.	Durchgelassen von 100 Wärmestrahlen.
Weißes Glas	40
Dunkelrothes Glas	33
Orangefarbenes Glas	29
Lebhaft gelbes Glas	22
Apfelgrünes Glas	25
Mineralgrünes Glas	23
Blaues Glas	21
Indigfarbenes Glas	12
Dunkel violettes Glas	34
Schwarzes undurchsichtiges Glas	17

Es findet also eine Wärmeabsorption in Folge der Färbung statt. Als

Melloni aus verschiedenen Gläsern Wärmestrahlen auf ein und dieselbe Alaunplatte fallen ließ, beobachtete er Folgendes:

Schirme, aus denen 100 Wärmestrahlen treten, und darauf successiv auf eine und dieselbe Alaunplatte fallen.	Anzahl der von dieser Alaunplatte durchgelassenen Strahlen.
Weißes Glas	27
Roths Glas	27
Orangefarbenes Glas	27
Gelbes Glas	27
Apfelgrünes Glas	8
Mineralgrünes Glas	3
Blaues Glas	27
Indigfarbenes Glas	27
Violettes Glas	27
Schwarzes undurchsichtiges Glas	1

Die aus rothem, orangefarbenem, gelbem, blauem, indigfarbenem und violettem Glase austretenden Wärmestrahlen durchdringen also eine Alaunplatte in demselben Verhältniß, als die aus farblosem Glase austretenden, während die durch grünes und schwarzes hindurchgegangenen fast undurchdringlich sind für die Alaunplatte. Es scheint dieses grüne Glas sehr viel Kupferoxyd zu enthalten. Aber nicht bloß bei farbigen Gläsern, sondern auch bei anderen Körpern zeigt Schwarz und Grün diese Eigenthümlichkeit.

Schirme, aus welchen die 100 Wärmestrahlen treten, die darauf successiv auf eine und dieselbe Alaunplatte fallen.	Zahl der von dieser Alaunplatte durchgelassenen Strahlen.
Undurchsichtig schwarzer Glimmer	2
Grüner Turmalin	7
Schwerspath	12
Saures chromsaures Kali	14
Weißer Glimmer	15
Beryll	19
Aquamarin	19
Perl-Achat	24
Gelber Achat	24
Gelber Bernstein	30
Gummi	45

Der grüne Turmalin und der schwarze Glimmer verhalten sich analog den Gläsern gleicher Farbe. Beryll und Aquamarin, obwohl an Farbe verschieden, lassen doch eine gleiche Menge Strahlen hindurch. Vergleiche auch über die durch Farbe erzeugten Veränderungen die Tafel S. 629 und S. 631, und rücksichtlich der Beziehung zwischen Farbe und Diathermanität weiter unten.

Der ganze Verlust beim Durchgang durch verschiedene Körper rührt indeß nicht von der Absorptionskraft derselben allein her, sondern ein Theil wird auch von den beiden Flächen reflectirt. Dieser reflectirte Theil läßt sich leicht finden. Wenn das Steinsalz selbst bei starker Dicke stets dieselbe Menge absorbiert, und den durchgegangenen Strahlen gar keine neue Modification einprägt, so muß der Verlust bei seinem Durchgange einzig und allein der Reflexion an beiden Flächen zugeschrieben werden. Es beträgt, da das Steinsalz stets 0,923 der auffallenden

Wärme durchläßt, der Verlust also stets $1 - 0,923 = 0,077$ oder $0,08$. Ist nun die einfallende Wärmemenge $= 1$, und R der an der Vorderfläche reflectirte Antheil, so wird nur noch $1 - R$ in die Masse bringen, und $R(1 - R)$ wird der von der Hinterfläche reflectirte Theil sein. Die Summe beider reflectirten Mengen und der durchgelassenen müssen gleich der Einheit sein; also

$$R + R(1 - R) + 0,923 = 1$$

oder löst man diese quadratische Gleichung auf:

$$R = 1 + \sqrt{0,923} = 1 + 0,9607$$

Das obere Zeichen ist nicht brauchbar, weil die reflectirte Menge sonst größer als die auffallende würde; es ist also nur das untere richtig, und $R = 0,0393$; die von der Hinterfläche reflectirte Menge ist aber gleich der von beiden Flächen reflectirten weniger der von der vordern, also $= 0,077 - 0,0393 = 0,0377$. Dieser Werth gilt auch für die Reflexion an den Flächen der übrigen Körper.

Nach dem Vorstehenden durchdringen also Wärmestrahlen verschiedener Quellen, auch wenn sie direct gleiche Temperaturerhöhung bewirken, doch einen und denselben diathermanen Körper in ungleichem Maße. Der Verlust aber, welchen die Wärmestrahlen bei ihrem Durchgange durch einen diathermanen Körper in Folge der Absorption erfahren, ist sowohl abhängig von der Natur der Wärmequelle als auch von der Beschaffenheit und Dicke des Körpers. Wenn Strahlen derselben Wärmequelle nacheinander verschiedene diathermane Körper durchdringen, so finden dabei Verluste statt, welche nach der Natur dieser Körper verschieden und stets größer als die sind, welche sie beim Durchgange durch gleichartige Körper erfahren. Und der Verlust, welchen die Wärme bei der Durchstrahlung einer Substanz erleidet, ist in dem Maße geringer, als sie bereits größere Schichten dieser Substanz durchdrungen hat. Endlich soll auch für einen und denselben Körper die hindurchgelassene Wärmemenge um so größer sein *), je glatter seine Oberfläche ist. Wenn aber die Strahlen verschiedener Wärmequellen von einem und denselben diathermanen Körper in verschiedener Menge durchgelassen oder auch absorhirt werden, so läßt sich schon hieraus schließen, daß die Strahlen dieser Wärmequellen eine gewisse Ungleichartigkeit darbieten müssen. Verschafft man sich nun durch ein Prisma aus Steinsalz ein Sonnenspectrum, so erfahren auch die Wärmestrahlen der Sonne eine Ausbreitung, und man erhält ein Wärmespectrum, dessen Strahlen eine sehr verschiedene Brechbarkeit darbieten; ein Theil dieser Strahlen ist noch brechbarer als das violette Licht, während ein anderer Theil von geringerer Brechbarkeit als die rothen Strahlen ist. Nun können sich die verschiedenen Wärmequellen eben darin unterscheiden, daß sie ungleiche Mengen der verschiedenen brechbaren Wärmestrahlen enthalten, während rücksichtlich der letzteren verschiedene Körper auch ein verschiedenes Verhalten zeigen müssen. Wir haben nun erkannt, daß das Steinsalz die Strahlen aller Wärmequellen fast gleich gut durchläßt und sich also gegen diese Strahlen verhält wie ein farbloser durchsichtiger Körper gegen das Licht, während die anderen diathermanen Körper die Strahlen verschiedener Wärmequellen in ungleicher Menge durchlassen oder absorbiren, und weiter haben wir gesehen, daß die durch verschiedene diathermane Platten durchgegangenen Wärmestrahlen ganz

*) Herschel: Phil. Ann. Bd. XII. S. 535. 540. Melloni: Pogg. Ann. Bd. XXXV. S. 277; Bd. XXXVIII. S. 44. 45.

die Eigenschaften der Lichtstrahlen verrathen, die aus einem farbigen Mittel austreten und durch eine andere durchsichtige und farbige Substanz in größerer oder geringerer Menge hindurchgehen.

Man nennt nun nach *Melloni* die Eigenschaft der Körper, gewisse Wärmestrahlen vorzugsweise durchzulassen, andere dagegen vorzugsweise zu absorbiren, gewöhnlich *Diathermansie*, eine Eigenschaft, welche in Bezug auf die strahlende Wärme gewissermaßen die Farbe eines Mittels vorstellt. Daher bezeichnet man diese Verschiedenheit der Wärmestrahlen, in Vergleich zur Farbe des durch farbige Mittel gegangenen Lichts, durch das Wort *Wärmefarbe* oder *Thermochrose*. Auch nennt man wohl nach dem Vorschlage *Bouillet's* jene Eigenschaft *Thermanismus*, und die damit versehenen Körper *thermanisirende*. Die durch einen solchen Körper gegangenen Wärmestrahlen werden hiernach *thermanisirte* genannt, die einen anderen diathermanen Körper, je nach dessen Natur, mit größerer oder geringerer Leichtigkeit oder wohl auch gar nicht durchdringen. Insofern nun *thermanisirte* Wärmestrahlen nur von gewissen Körpern durchgelassen werden, kommt ihnen gleichsam eine gewisse Wärmefarbe zu, in ähnlicher Weise, wie Lichtstrahlen, welche durch farbige Gläser gehen, mit einer bestimmten Farbe hervortreten, was bekanntlich davon herrührt, daß die auf solche Gläser fallenden Lichtstrahlen zum Theil absorbirt werden, während ein anderer Theil frei durchgelassen wird, der nun seinerseits wieder nur gewisse andere durchsichtige Substanzen frei durchstrahlt.

Die *Diathermanität* bezeichnet, wie bereits früher angegeben, die Eigenschaft der Körper, überhaupt einen bestimmten Theil der auf sie fallenden Wärmestrahlen durchzulassen; sie verhält sich zur *Diathermansie* wie die Durchsichtigkeit eines Körpers zu seiner Färbung. Die diathermanen Substanzen zerfallen aber in universelle und partielle; doch giebt es nach *Melloni* nur eine universell diathermane Substanz, nämlich das Steinsalz, während alle übrigen, die den farbigen durchsichtigen Substanzen analog sind, zu den partiellen gehören. Eine neue hierher gehörige Analogie zwischen Licht und Wärme, welche sich auf die sog. *dichromatischen Mittel* bezieht, haben *Masson* und *Jamin* herausgestellt (vergl. hierüber Art. *Diathermansie*).

Es ist hervorgehoben, daß nach Versuchen von *de la Roche* und *Melloni* die Fähigkeit der Wärme, diathermane Körper zu durchstrahlen, mit der Temperatur der Wärmequelle zuzunehmen scheint; und hiermit verbindet man denn den Satz, daß mit Erhöhung der Temperatur die Menge der stärker brechbaren Strahlen zunimmt, welche die genannten Körper leichter zu durchdringen vermögen als die minder brechbaren Wärmestrahlen. Eine Ausnahme von dem obigen Satze bildeten nur reines Steinsalz, welches von Wärmestrahlen jeder Quelle in gleicher Weise durchdrungen werde, und ein berußtes Steinsalzplättchen, das nach *Forbes* *) und *Melloni* **) die Wärme in desto höherem Grade durchstrahlt, je niedriger die Temperatur ihrer Quelle ist.

Knoblauch, der die Gesetze der strahlenden Wärme nach dem Vorgange *Melloni's* einer neuen Prüfung unterwarf ***), suchte auf experimentellem

*) *Pogg. Ann.* Bd. LI. S. 101 ff. 403.

**) *Pogg. Ann.* Bd. XLVIII. S. 329 ff.; Bd. XLIX. S. 378 ff.; Bd. LIII. S. 32.

***) *Pogg. Ann.* Bd. LXX. S. 203. 212 ff.

Wege die Frage zu entscheiden, „ob die Fähigkeit der Wärmestrahlen, gewisse Körper zu durchdringen, in wahrnehmbarer Beziehung zu der Temperatur ihrer Quelle stehe.“

Die Thermosäule, welche zu seinen Versuchen diente, bestand aus 25 Paaren von Wismuth- und Antimonstäbchen, deren jedes 35^{mm},5 lang, 2^{mm},3 breit und 1^{mm},5 dick war. Sie waren, bis auf die Lötstellen, sorgfältig von einander isolirt, in einen Messingring eingefittet, aus dem sie 5^{mm},5 weit hervortraten, indem sie fünf Reihen, jede zu fünf Paaren, bildeten. Ihre Enden waren abgescrägt, so daß die Vorderfläche jedes Paares ein Rechteck von 2^{mm},1 und 1^{mm},0 darstellte. Die Oberflächen der beiden Seiten der Säule waren einander völlig gleich und mit Ruß von gleichmäßiger Dicke überzogen. Die der Wärmequelle zugewandte Seite war mit einem polirten Metallcylinder von 30^{mm} Durchmesser und 60^{mm},9 Länge, die entgegengesetzte mit einem Cylinder von gleichem Durchmesser, aber nur 19^{mm} Länge versehen. Sowohl durch diese Cylinder als auch durch zweckmäßig aufgestellte Schirme war die Säule gegen jede Ueberstrahlung geschützt, so daß sie außer der Temperatur der umgebenden Luft, welche von allen Seiten gleichmäßig auf sie einwirkte, nur dem Einflusse der Wärmequelle ausgesetzt war. Die Leitungsdrähte, welche sie mit dem Multiplikator verbanden, wurden mittels Klemmschrauben an Kupferhüllen befestigt, in welche die Pole der Säule ausliefen. — Der Multiplikator war nach dem Princip *Mobilis*'s construirt, und ein Vorzug desselben bestand darin, daß sein Draht aus galvanisch niedergeschlagenem Kupfer gezogen war, wodurch der störende Einfluß des in gewöhnlichen Leitungsdrähten enthaltenen Eisens vermieden wurde.

Bei einer Versuchsreihe dienten als Wärmequelle glühendes Platin, eine Alkoholflamme, eine Argand'sche Lampe und eine Wasserstoffflamme, deren Temperaturhöhen in dieser Ordnung aufeinander folgen, so daß das Platin die niedrigste und die Wasserstoffflamme die höchste darbietet. Nachdem nun das glühende Platin dergestalt auf die beschriebene Thermosäule eingestrahlt hatte, daß die Nadel des mit ihr verbundenen Multiplikators auf 20° abgelenkt wurde, ging diese auf 12° zurück, wenn man eine Platte farblosen Glases von 1^{mm},3 Dicke zwischen der genannten Wärmequelle und der Thermosäule einschaltete. Diese 12° entsprachen der durch das Glas hindurchgehenden Wärme; hatte aber die Alkoholflamme durch unmittelbare Einwirkung auf das Thermoskop eine gleiche Ablenkung von 20° hervorgebracht, so wich die Nadel auf 11° zurück, wenn dieselbe Glasplatte an derselben Stelle eingeschoben wurde. Die Wärme der Alkoholflamme durchstrahlte mithin die Glasplatte in geringerem Grade als die des glühenden Platins. Die Wärme der Argand'schen Lampe, welche direct die Nadel gleichfalls auf 20° abgelenkt hatte, brachte dagegen, nach Zwischenstellung des Glases, eine Abweichung von 15° hervor. Strahlte endlich die Wasserstoffflamme dergestalt auf die Thermosäule ein, daß sie die Galvanometernadel auf 20° ablenkte, so ging dieselbe beim Einschalten des Glaschirmes auf 12° zurück.

Die Wärme der Wasserstoffflamme und des glühenden Platins sind hiernach, ungeachtet der großen Verschiedenheit ihrer Temperatur, in gleichem Grade fähig, eine Glasplatte von 1^{mm},3 Dicke zu durchdringen, während die Wärme der Alkoholflamme diese Fähigkeit in geringerem Grade als die des glühenden Platins besitzt, obgleich sie eine höhere Temperatur als das letztere hat, und die Wärme

der Argand'schen Lampe in viel höherem Grade als die der Wasserstoffflamme, obgleich ihre Temperatur entschieden niedriger ist.

Bertauchte man, bei derselben directen Einwirkung der Wärmequellen, den Glasschirm mit einer Alaunplatte von 1^m,4 Dicke, so beobachtete man beim glühenden Platin einen Rückgang der Magnetnadel auf 8°, 25, bei der Alkoholflamme auf 7°, 5, bei der Argand'schen Lampe auf 10°, 5 und bei der Wasserstoffflamme auf 7°, 75. — Die Wärme der Wasserstoff- und Alkoholflamme geht also, bei großem Temperaturunterschiede, auf gleiche Weise durch die Alaunplatte hindurch, und die der Argand'schen Lampe, ja selbst die des glühenden Platins durchstrahlt dieselbe reichlicher als die Wärme der Wasserstoffflamme, obgleich sie einen bei weitem geringeren Wärmegrad haben.

Ähnliche Verhältnisse zeigte die Strahlung durch Gyps. Durch Kali- und Magnesia-Glimmer geht sogar die Wärme der Wasserstoffflamme schlechter als die der drei übrigen Quellen hindurch. Die Beobachtungen, welche sich beim Durchgange der Wärme durch die genannten und einige andere diathermane Körper für verschiedene directe Ablenkungen ergeben haben, finden sich am citirten Orte *) in einer Tabelle zusammengestellt. Es geht daraus hervor, daß die Durchstrahlung der Wärme durch diathermane Körper in keinem einzigen der untersuchten Fälle mit der Temperatur der Wärmequelle im Verhältniß steht. Um den Versuch so rein als möglich anzustellen, beobachtete Knoblauch auch den Durchgang der Wärme, welche bei verschiedener Temperatur von einem und demselben Körper ausgestrahlt wird **). Das Hauptresultat ist: „daß der Durchgang der strahlenden Wärme durch diathermane Körper nicht, wie es nach frühern Versuchen schien, in directem Zusammenhange mit der Temperatur ihrer Quelle steht, sondern nur von der Beschaffenheit der diathermanen Substanz abhängt, welche von gewissen Wärmestrahlen in höherem Grade als von anderen durchdrungen wird, diese mögen bei höherer oder niedriger Temperatur entstanden sein.“

Die Erwärmung, welche ein Körper von den auf ihn fallenden Wärmestrahlen erfährt, ist nur durch diejenigen Strahlen bedingt, welche von ihm absorbiert werden, nicht durch die, welche durch ihn hindurchgehen. Verschiedene Körper erwärmen sich aber unter den Strahlen einer und derselben Wärmequelle in ungleichem Maße, und bei jedem einzelnen Körper ist der Grad der Erwärmung von der Beschaffenheit seiner Oberfläche abhängig. Uebrigens führten Versuche von Baden-Powell ***) und Melloni ****) zu dem Resultate, daß ein und derselbe Körper von Wärmestrahlen verschiedener Quellen, welche direct gleiche Wirkung auf das Thermoskop ausüben, ungleich erwärmt wird.

Melloni versah die Thermosäule mit einem kegelförmigen Reflector, dessen Mündung der Wärmequelle zugewendet wurde. Zwischen der Mündung des Reflectors und der Wärmequelle wurden dann nacheinander runde Scheiben von dünnem Metallblech, deren Durchmesser etwas größer war als die Mündung des Reflectors, eingeschaltet. Die der Thermosäule zugekehrte Seite jeder Scheibe

*) S. 217.

**) A. a. O. S. 218 ff.

***) Pogg. Ann. Bd. XXI. S. 316.

****) Pogg. Ann. Bd. XXXV. S. 343 ff. 375 ff. Bd. XXXIX. S. 31. 360 ff. Bd. XLIV. S. 387. 361 ff. Bd. LI. S. 82. Bd. LII. S. 422.

war mit Kienruß geschwärzt, um die von der anderen Seite absorbirte Wärme gegen die Säule auszustrahlen. Diese zweite der Wärmequelle zugekehrte Seite war nun bei den verschiedenen Scheiben mit Kienruß, Bleiweiß, Hausenblase, Fusch und Gummilack überzogen. Als Wärmequellen wurden benutzt: glühendes Platin, Kupfer von 400° und Kupfer von 100°.

Bezeichnet man das Absorptionsvermögen des Kienrußes für diese Wärmequellen durch 100, so läßt sich nach Melloni's Versuchen das Absorptionsvermögen der übrigen Körper durch folgende Zahlen ausdrücken:

	Platin glühend	Kupfer von 400°	Kupfer von 100°
Kienruß	100	100	100
Bleiweiß	56	89	100
Hausenblase	54	64	91
Fusch	95	87	85
Gummilack	47	70	72
Blankes Metall	13,5	13	13.

Der Kienruß hat hiernach das stärkste Absorptionsvermögen; auch absorbirt derselbe jede Art von Wärmestrahlen in gleicher Weise. Melloni setzte einen auf beiden Seiten beruhten Metallschirm verschiedenen Wärmequellen aus, während die Thermosäule so angebracht wurde, daß er bald nur solche Strahlen aufnahm, welche von der der Wärmequelle zugekehrten Seite des Schirms herkamen, bald dagegen nur diejenigen Strahlen, welche von der entgegengesetzten Seite des Schirms ausgingen. In jenem Falle kam vom Ruß nur wenig unregelmäßig zerstreute (diffuse) Wärme her, und das Verhältniß der strahlenden Wärmemenge war in beiden Fällen bei allen Wärmequellen dasselbe. Melloni entnahm hieraus, daß das Absorptionsvermögen des Kienrußes für alle Arten von Wärmestrahlen dasselbe ist, so daß es sich gegen die Wärme in ähnlicher Weise wie ein schwarzer Körper gegen das Licht verhält. Andere Körper verhalten sich in dieser Beziehung anders, nur die Metalle absorbiren noch jede Art von Wärmestrahlen in gleicher Weise, und sollen auch für jede Art von Wärmestrahlen ein fast gleiches Reflexions- und Zerstreuungsvermögen zeigen (s. weiter unten).

Knoblauch*) überzog eine Metallscheibe auf einer Seite mit Garmin, auf der anderen mit Ruß, und setzte sie unmittelbar vor der Thermosäule dergestalt den Strahlen einer Argand'schen Lampe aus, daß die Garminfläche der Wärmequelle, die beruhte der Säule zugekehrt war. Die eigene Erwärmung der Scheibe brachte dann eine Ablenkung von 9°,5 am Multiplicator hervor, wenn die Argand'sche Lampe direct die Nadel auf 35° abgelenkt hatte. Unter denselben Umständen erhielt derselbe aber eine Ablenkung von 10°,87, wenn er, statt der Klamme, einen dunklen erhitzten Metallcylinder, welcher direct eine gleiche Ablenkung von 35° bewirkte, gegen die Garminfläche ausstrahlen ließ. — War die Metallscheibe, anstatt des Garmins, mit schwarzem Papier überzogen, so wurde die Magnetnadel durch die Erwärmung der vor der Thermosäule aufgestellten Scheibe im ersten Falle auf 10°,75, im zweiten auf 10°,12 abgelenkt. Die Garminfläche wird also durch die Strahlen der Argand'schen Lampe verhältnißmäßig weniger

*) Pogg. Ann. Bd. LXX. S. 230 ff.

als durch die eines auf 80° R. erhitzten Cylinders erwärmt, während beim schwarzen Papier gerade das Gegentheil stattfindet. Die folgenden, einer größeren directen Ablenkung angehörigen Zahlen (arithmetische Mittel aus je zwei Beobachtungen) zeigen dieß noch entschiedener.

Eingeschaltete sich erwärmende Fläche	Ablenkung durch directe Einstrahlung der Wärmequelle	Ablenkung nach dem Einschalten für:		Ablenkung durch directe Einstrahlung der Wärmequelle	Ablenkung nach dem Einschalten für:	
		die Argand'sche Lampe	den erhitzten Cylinder		die Argand'sche Lampe	den erhitzten Cylinder
Carmin . .	35°	9,50	10,87	50°	13,75	15,62
Schwarzes Pa- pier . . .	35°	10,75	10,12	50°	15,25	14,00

Nach früheren Beobachtungen hatte es den Anschein, als ob die Wärmestrahlen aus Quellen niedriger Temperatur fähiger seien, die Körper zu erwärmen, als die bei höherer Temperatur ausgesandten; dagegen ist es durch diese Versuche Knoblauch's dargethan, „daß die Erwärmung bei gleicher Intensität der eingestrahnten Wärme, völlig unabhängig von der Temperatur ihrer Quelle, allein durch die Natur jener absorbirenden Substanzen bedingt wird, welche für gewisse Strahlen mehr als für andere empfänglich sind.“

Um den Einfluß der Dicke der den Wärmestrahlen ausgesetzten Körper auf ihre Erwärmung zu untersuchen, trug Knoblauch *) farblos durchsichtigen Firniß, schwarzen undurchsichtigen, aber diathermanen Lack und Bleiweiß in Schichten von verschiedener Dicke auf dünne, in jeder Beziehung gleiche Metallscheiben auf, deren der Thermosäule zugekehrte Seite mit Papier überzogen war. Es stellte sich heraus, daß sich die angewandten Körper, innerhalb der Grenzen der Versuche, in desto höherem Grade erwärmen, je dicker sie sind.

Leslie und Melloni machten an anderen Substanzen entgegengesetzte Erfahrungen. Der Grund dieser Verschiedenheit liegt aber darin, daß bei Knoblauch's Versuchen die Grenze noch nicht erreicht ist, welche jene Versuche bereits überschritten haben. Der Zusammenhang ist nämlich nach Knoblauch folgender. Wenn man einen Körper den Strahlen einer Wärmequelle aussetzt, so dringen diejenigen, welche nicht von seiner Oberfläche reflectirt werden, in ihn ein und erwärmen eine Schicht nach der andern, falls sie nicht ungehindert durch ihn hindurchgehen. Jede dieser Schichten theilt dann der benachbarten ihre Wärme durch Leitung und Strahlung mit. Die Summe der einem Körper auf diese Weise zugeführten Wärme wächst hiernach in dem Maße, als die Anzahl der absorbirenden Schichten zunimmt; aber sie erreicht ihr Maximum, sobald diese eine Dicke erlangen, jenseits welcher die Wärme weder durch Strahlung, noch durch

*) A. a. O. S. 232 ff.

Leitung weiter vordringen kann. — In Knoblauch's Versuchsreihe war die Dicke nie so groß, daß nicht jede aufgetragene Schicht noch hätte erwärmt und nicht die Wärme aller auf die Metallfläche hätte wirken können, welche mittelst des Papierüberzuges gegen die Thermosäule strahlte. Bei Leslie's und Melloni's Beobachtungen waren aber die eingezeichneten Schirme so dick, daß nur ein geringer Theil der Wärme ihrer vorderen Flächen die dem Thermoskope zugekehrte Seite erreichte, und daher mußte sich ihre Wirkung auf dasselbe in dem Grade vermindern, als man diesen Antheil durch Vermehrung der Dicke schwächte. — Die Grenze, bei der die Erwärmung eines Körpers aufhört, mit zunehmender Dicke zu steigen, wird sich für eine und dieselbe Wärmequelle nach der Substanz, und für eine und dieselbe Substanz nach der Natur der Wärmequelle richten.

Die Temperatur eines Körpers erhöht sich bei zunehmender Dicke desselben um so mehr, je weniger er für die ihm zugehenden Strahlen diatherman ist; und aus Knoblauch's Versuchen folgt direct, was Melloni richtig vermutet hatte, daß diathermane Körper durch diejenigen Strahlen, welche sie am wenigsten durchdringen, in der That am meisten erwärmt werden.

Die Reflexion der Wärmestrahlen ist schon in diesem Artikel (S. 617) berührt worden; auch haben wir bereits die regelmäßige, unter einem bestimmten Winkel an spiegelnden Flächen geschehende Reflexion von der nach allen Seiten gerichteten sog. diffusen Reflexion unterschieden.

Es ist schon längst bekannt, daß die Intensität der regelmäßig reflectirten Wärme sowohl von der Natur der reflectirenden Körper, als auch von dem Zustand ihrer Oberflächen und von der Neigung der einfallenden Strahlen gegen diese Flächen abhängt.

Neuerdings haben de la Brexostave und Desains das Reflexionsvermögen der Metalle genauer zu bestimmen gesucht *). Ihre Beobachtungsmethode bestand im Wesentlichen darin, daß sie die Ablenkungen des Multiplikators eines thermoelektrischen Apparates bestimmten, wenn successiv die directen Strahlen einer Vocatellischen Lampe und dieselben Strahlen, nachdem sie an polirten und gut planen Spiegeln aus den zu untersuchenden Substanzen reflectirt worden, auf die Thermosäule fielen. Zur Prüfung wandten sie zwei Methoden an, die darin bestanden: 1) daß sie die relativen Reflexionsvermögen zweier Metalle bestimmten, und das des zweiten aus dem als bekannt vorausgesetzten des ersten herleiteten; 2) daß sie das Reflexionsvermögen des Glases, hauptsächlich bei Incidenzen von 75 und 80°, bestimmen, und damit das Reflexionsvermögen der Metalle verglichen. Diese letzte Methode benutzten sie nur zur Verification des Reflexionsvermögens des Messings. — Durch diese verschiedenen Methoden erhielten sie folgende Resultate.

Das Wärme-Reflexionsvermögen der Metalle erwies sich als sehr beträchtlich. Nachstehende Tafel enthält die Werthe, die beim Einfallswinkel 50°, gerechnet von der Normale, gefunden wurden:

*) Compt. rend. T. XXIV. p. 684. — Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 128.

	Absolutes Reflexionsvermögen.
Silberplattirung, gut polirt	0,97
Kupfer	0,93
Messing, durch Hämmern polirt	0,93
Messing, geschlagen, dann durch Reiben polirt	0,92
Kupfer, gefirnißt	0,86
Spiegelmetall, frisch polirt	0,855
Zinn	0,855
Spiegelmetall, etwas angelaufen	0,825
Stahl, gehärtet	0,825
Zink	0,81
Eisen	0,77
Plattsilber, auf Glas geklebt	0,73

Spiegelmetall und Stahl waren nach den gewöhnlichen Proceuren bearbeitet, die zur Erlangung einer möglichst vollkommenen Politur dienen. — Die übrigen Metalle waren weniger hart und ihre Politur weniger vollendet.

Die Reflexionsvermögen scheinen sich bei Winkeln unter 70° nicht mit der Incidenz zu verändern. — Wenn man 70° erreicht, erleiden sie eine Abnahme, die bei 75 bis 80° sehr merklich wird. Bei diesen beiden Winkeln ist das Reflexionsvermögen fast gleich 0,94 des Reflexionsvermögens bei kleineren Incidenzen.

In mehr streifenden (schiefen) Richtungen ist es nicht möglich, mit Sicherheit zu beobachten; man kann daher nicht wissen, ob die Abnahme bis 90° fortgehe oder ein Minimum habe.

Da das Reflexionsvermögen des Glases mit der Incidenz rasch zunimmt, so wurde die eben erwähnte Abnahme nicht eher anerkannt, als bis sie durch wiederholte Versuche mit verschiedenen Spiegeln von derselben Substanz und von verschiedenen Substanzen, so wie durch successive Reflexion des Wärmebündels an verschiedenen Punkten der Oberfläche bestätigt worden war.

De la Prevostaye und Desains fanden, nachdem diese ihre Arbeit vollendet war, bei einer geschichtlichen Nachforschung, daß Botter schon angegeben *) die Reflexion des Lichtes sei geringer bei größeren Einfallswinkeln, und daß Forbes **) diesen Satz für die Wärme bestätigt habe.

Die ersten Untersuchungen über die diffuse Reflexion wurden von Herschel ***) und Leslie ****) vorgenommen; bestimmte Resultate erhielt aber erst Melloni *****).

Die Intensität der diffus reflectirten Wärme ist wie bei der regelmäßig reflectirten abhängig von der Natur der reflectirenden Körper und von der Beschaffenheit ihrer Oberflächen. Melloni fand aber, daß bei der diffusen Reflexion verschiedenartige Wärme auf ungleiche Weise von einem und demselben Körper zurückgeworfen wird. Derselbe beobachtete, daß eine weiße Fläche die Wärme einer Locatelli'schen Lampe, je nachdem sie mit oder ohne Glashornstein angewendet

*) Herschel, *Traité de la lumière* T. II. p. 530.

**) *Proceedings of the Roy. Soc. of Edinb.* 1839. März.

***) *Gilb. Ann.* Bd. XII. S. 542 ff.

****) *An experim. inq. into the nat. and propag. of heat.* 1804. p. 459 ff.

*****) *Pogg. Ann.* Bd. XLIII. S. 284. Bd. LII. S. 429 ff., 577, 580 ff.

wird, die Wärme des glühenden Platins und des auf 400° C. erhitzten Kupfers mit verschiedener Intensität zurückwirft. Nur Metallplatten reflectiren, nach seinen Versuchen, bei rauher Oberfläche die Wärme aller Quellen in gleichem Grade, während Ruß bei allen eine kaum merkbare Diffusion zeigt. Raube Metallflächen verhalten sich, nach ihm, gegen die Wärme, wie weiße Körper gegen das Licht.

Knoblauch *) untersuchte nun weiter, ob die Wärme bei der diffusen Reflexion in ihren Eigenschaften Veränderungen erleidet, welche sie von der nicht reflectirten unterscheiden. Diese Untersuchung geschah in der Weise, daß ermittelt wurde, ob die strahlende Wärme dieselben diathermanen Medien in ungleichem Verhältniß durchdringt, je nachdem sie unreflectirt oder von verschiedenen Körpern diffus reflectirt ist. — Es zeigten sich bedeutende Unterschiede. Strahlte z. B. die Wärme einer Argand'schen Lampe dergestalt auf die Thermosäule ein, daß die Multiplikatornadel auf 25° abgelenkt wurde, so ging diese auf 15°, 19 zurück, wenn man eine Kalkspath-Platte von 3^{mm}, 7 Dicke zwischen der Wärmequelle und dem Thermoskop einschaltete. Diese 15°, 19 rührten bekanntlich von der durch den Kalkspath hindurchgehenden Wärme her. Hatte aber die von einer Carminfläche diffus reflectirte Wärme der Lampe die Ablenkung von 25° hervorgebracht, so wich die Nadel nur auf 22°, 31 zurück, wenn man dieselbe Kalkspath-Platte, an der nämlichen Stelle wie zuvor, zwischen der reflectirenden Fläche und der Thermosäule einstellte. Die vom Carmin zurückgesandte Wärme ging also verhältnißmäßig besser als die unreflectirte durch Kalkspath hindurch. Ähnliches war bei anderen diathermanen Medien der Fall. — Auf diese Weise hat Knoblauch die von einer großen Anzahl von Körpern diffus reflectirten Wärmestrahlen sowohl mit den unreflectirten als unter sich (hinsichtlich ihres Durchganges durch diathermane Substanzen) verglichen.

Es kam bei diesen Versuchen darauf an, daß nur reflectirte Wärme zum Thermoskop gelangte; es mußte daher die Erwärmung der reflectirenden Körper vermieden werden. Und dies geschah dadurch, daß man sie als Seitenflächen von Metallwürfeln anwandte, welche Wasser von der Temperatur der Umgebung enthielten. Dabei wurden diejenigen, welche mit einander verglichen werden sollten, auf verschiedene Würfel aufgetragen, so daß jeder derselben so kurze Zeit als möglich den Wärmestrahlen ausgesetzt blieb.

Sodann wurde untersucht, wie sich die Modificationen der Wärme bei diffuser Reflexion, welche bei ihrer Durchstrahlung durch diathermane Substanzen hervortreten, bei verschiedenen Wärmequellen verhalten. — Die sämtlichen Versuchsergebnisse finden sich in besonderen Tabellen zusammengestellt **).

Es stellte sich heraus, daß die Wärme durch diffuse Reflexion in sehr verschiedener Weise von einigen Körpern in hohem Grade, von anderen gar nicht verändert wird, daß diese Veränderungen der Wärme bei diffuser Reflexion dann sowohl durch die Natur der Wärmequellen wie durch die Beschaffenheit der reflectirenden Körper bedingt werden, und daß dieselben nur Folge einer auswählenden Absorption der reflectirenden Körper für gewisse ihnen zugesandte Wärmestrahlen sind.

*) Pogg. Ann. Bd. LXXI. S. 1 ff.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXI. S. 7—54.

In Rücksicht auf die Erklärung der Veränderungen, welche die Wärme bei der diffusen Reflexion erfährt, boten sich zwei mögliche Fälle dar. Diese Veränderungen konnten nämlich entweder in einer Umwandlung der Wärmestrahlen bestehen, welche sie für die eine oder andere diathermane Substanz mehr oder weniger durchgangsfähig machte, oder sie waren Folge einer auswählenden Absorption der reflectirenden Flächen für gewisse ihnen zugefandte Wärmestrahlen, wie es nach den Versuchen von Vaden-Bowell und Melloni das Wahrscheinlichste war. Nun konnten im ersten Falle die Verschiedenheiten der reflectirten Wärme erst beim Durchgange durch die diathermanen Medien hervortreten, im zweiten mußten sie sich schon vor ihrem Eintritt in dieselben aus der Intensität erkennen lassen, mit der verschiedene Wärmestrahlen von verschiedenen Flächen reflectirt wurden, weil die Intensität der reflectirten Wärme der reciproce Ausdruck der Wärmeabsorption ist. — Das Experiment hatte nun gelehrt, daß z. B. die von Garmin reflectirte Wärme verhältnismäßig besser als die von Zinnober zurückgeworfene rothes Glas und Kalkspath durchdringt. Kam dies daher, daß Garmin einen größeren Antheil der durch diese Körper schlecht hindurchgehenden Strahlen absorbirte als Zinnober, so mußte es im Vergleich mit diesem desto schlechter die Wärme einer Quelle reflectiren, je mehr sie ihm solche durch rothes Glas und Kalkspath schlecht hindurchgehende Strahlen zusandte. Nun durchdringt aber die Wärme eines dunklen erhitzten Metallcylinders rothes Glas und Kalkspath bedeutend schlechter als die Wärme einer Argand'schen Lampe. Deshalb mußte Garmin, im Vergleich mit Zinnober, die Wärme des Cylinders verhältnismäßig schlechter als die der Argand'schen Lampe reflectiren, wenn jene Veränderung der Wärme nach der Reflexion in der That durch auswählende Absorption herbeigeführt war. Und dies hat die Beobachtung bestätigt *).

Sodann ergab sich noch, daß die Diffusion der Wärme unabhängig ist von der Temperatur ihrer Quelle, und daß man, mit Ausnahme von Kohle und Metall, von keinem Körper sagen könne, daß er die Wärme überhaupt besser oder schlechter als ein anderer reflectirt, weil sich dieses Verhältniß mit jeder Bestrahlung ändert.

Die Verschiedenheiten der diffus reflectirten Wärme sind denen ganz analog, welche an den diffus reflectirten sichtbaren (leuchtenden) Strahlen beobachtet werden; aber schon Herschel **) und Melloni ***)) haben darauf hingewiesen, daß die Reflexion dieser leuchtenden Strahlen der Reflexion der wärmenden nicht parallel sei. Und aus Knoblauch's Versuchen geht auch hervor, daß gewisse Körper, welche dem Auge gleichfarbig erscheinen, verschiedenartige Wärme reflectiren, und ungleichfarbige für das Auge, der bisherigen Erfahrung nach, gleichartige Wärmestrahlen reflectiren. — Doch entscheidet dieses Resultat, wie Knoblauch ****)) bemerkt, nichts über die Identität von leuchtenden und wärmenden Strahlen; denn da auch jede leuchtende Wärmequelle eine große Anzahl unsichtbarer, der Reflexion fähiger Strahlen aussendet, welche die Thermosäule afficiren ****)), so konnte auch die strengste Identität, d. h. die Annahme, daß

*) Vergl. a. a. D. S. 43 ff.

**) Wild. Ann. Bd. LII. S. 541 ff.

***)) Pogg. Ann. Bd. XLIII. S. 284; Bd. LII. S. 577 ff.

****)) A. a. D. S. 56.

****)) Herschel: Wild. Ann. Bd. V. S. 459 ff.; Bd. VII. S. 143 ff.; Bd. X. S.

jeder Strahl, welcher nach Durchdringung der optischen Medien die Retina unseres Auges zur Empfindung des Sehens erregt, nach Verhältniß seiner Stärke, auf ein berußtes Thermoskop einwirke, seine Uebereinstimmung in der diffusen Reflexion der sichtbaren und wärmenden Strahlen erwarten lassen, es müßte denn sein, daß man mit einer Quelle experimentirt hätte, welche nur eine Art leuchtender und eine Art wärmender Strahlen aussandte.

Es ist bekannt, daß man die verschiedenen Farben, in welchen und die Oberflächen der Körper erscheinen, daraus erklärt, daß nur gewisse Lichtstrahlen von ihnen reflectirt, andere aber absorhirt werden. Da nun die Verschiedenheiten, welche die Wärme nach der Reflexion von dem einen oder andern Körper zeigt, sich durch die Versuche Knoblauch's als Folge einer solchen auswählenden Absorption erwiesen haben, so bieten auch in dieser Beziehung Licht und strahlende Wärme eine große Analogie dar.

De la Prevostaye und Desains untersuchten *), auf welche Weise die diffuse Wärme sich rings um den Einfallspunkt vertheile, und nach welchen Verhältnissen eine und dieselbe Wärmefluth durch nicht polirte Substanzen von verschiedener Natur reflectirt werde. Sie erkannten, daß, wenn ein Bündel wenig divergirender Strahlen auf eine diffus reflectirende ebene Fläche fällt, die zurückgesandte Wärme im Maximum ist in der Richtung, in welcher die regelmäßige Reflexion geschehen würde, wenn die angewandte Fläche ein vollkommener Spiegel wäre. Hiernach verglichen sie die Verhältnisse, nach welchen bei verschiedenen diffundirenden Substanzen und bei verschiedenen Incidenzen die Wärme in Richtung des Maximums zurückgesandt wird. Dieselben fanden, daß, bei einer und derselben Incidenz, diese Verhältnisse von einem Körper zum andern variiren können, ja bei jedem Körper nach Art seiner Zubereitung und Anwendung. — Bei Platten, die so zubereitet waren, daß sie unter sehr starken Incidenzen ein wahrnehmbares Spiegelungsvermögen erlangten, ohne jedoch bei schwachen Neigungen ein solches zu besitzen, nahm das Verhältniß des in Richtung des Maximums zurückgesandten einfallenden Strahles mit der Incidenz zu, wenigstens so lange diese nicht 65° überstieg.

Rücksichtlich der Vertheilung der diffusen Wärme um den Einfallspunkt ergab sich Folgendes:

1) Bei den polirten Metallen wird fast alle Wärme in der Richtung der regelmäßigen Reflexion zurückgesandt. In einem merklichen Abstand von dieser Richtung findet man kaum wahrnehmbare Spuren. 2) Wenn die Wärme senkrecht auf eine sehr matte Fläche fällt, so ist die durch Diffusion zurückgesandte Portion, wie zu erwarten stand, symmetrisch um den Einfallspunkt vertheilt, und nimmt ab, so wie man sich von dieser Richtung entfernt. 3) Wenn die Fluth schief auf eine derartige Fläche fällt, so ist die Vertheilung der diffusen Wärme weder um

69, 73 ff., 80 ff.; Bd. XII. S. 322—329, 341. — Englefield: Gilb. Ann. Bd. XII. S. 399, 403—408. — Melloni: Pogg. Ann. Bd. XXIV. S. 642—649; Bd. XXXV. S. 296, 404, 533, 537—541, 580 ff.; Bd. XXXVII. S. 210 ff., 489—492, 496; Bd. XXXIX. S. 18, 21; Bd. XLVIII. S. 329—331; Bd. XLIX. S. 378 ff., 384 ff.; Bd. LVII. S. 300 ff.; Bd. LXII. S. 22 ff., 29 ff. — Knoblauch fand, daß gewisse Wärmestrahlen der Argand'schen Lampe durch schwarzes Glas und schwarzen Lack hindurchgehen, welche also unsichtbar (nicht leuchtend) von der Flamme ausgesandt wurden.

*) Compt. rend. T. XXVI. Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 147.

die Normale, noch um die Richtung des Maximums symmetrisch. Wenn in der Einfallsebene die Axe der Thermosäule sich von dieser letzteren Richtung entfernt, um sich dem einfallenden Strahl zu nähern, so variirt die Intensität des erzeugten Effects mit außerordentlicher Langsamkeit; schneller nimmt sie ab, wenn man sich der Fläche nähert. 4) Endlich erhält man intermediäre Resultate, wenn die angewandten Substanzen weder vollkommen matt, noch vollkommen polirt sind. So verhalten sich Bleiweiß und chromsaures Blei, mit Gummi angestrichen, ferner mattes Gold und Silber. Kreuzweis gefurchte Kupferspiegel müssen unter dem Gesichtspunkte der Diffusion diesen letzteren beigelegt werden.

Auch wurden Versuche angestellt, um zu sehen, was außerhalb der Einfallsebene geschehen werde. In diesem Falle konnte man bei constant gelassener Richtung des einfallenden Bündels die Axe der Thermosäule, rings um die Normale aus der Mitte des erleuchteten Theils der diffundirenden Fläche, Regel mit veränderlicher Oeffnung beschreiben lassen. In allen Fällen erhielt man das Maximum der Wirkung in der Reflexionsebene. Entfernte man sich aus dieser Lage, so nahmen die erhaltenen Ablenkungen ab, aber desto weniger rasch, je kleiner der Winkel des beschriebenen Kegels und je matter die reflectirende Fläche war. — Bei allen den erwähnten Versuchen war die Wärmequelle eine leuchtende.

Wir haben schon hervorgehoben, daß, gewissen Versuchen zufolge, die Wärmestrahlen verschiedener Art in gleichem Verhältniß an polirten Metallen reflectirt werden sollen. De la Prevostaye und Desains erinnern *) dagegen an die genauen Versuche von Jamin, nach welchen, übereinstimmend mit den Formeln von Cauchy, die Intensität der Lichtreflexion von der Farbe des angewandten Lichtes abhängt. Die zahlreichen Analogien zwischen Licht und Wärme erlauben kaum, wie jene Physiker sagen, eine wesentliche Verschiedenheit zwischen beiden in dieser Beziehung anzunehmen, und sie glauben durch Versuche bewiesen zu haben, daß dieser Unterschied nicht existirt und daß die verschiedenartigen Wärmestrahlen sich in sehr ungleichen Verhältnissen an einem Metallspiegel reflectiren. Der Gang der Untersuchung, welchen sie befolgten, war genau derselbe, den sie bei ihren Versuchen über das Reflexionsvermögen der Metalle (S. 640) einschlugen. Die Wärmequelle war stets eine Locatelli'sche Lampe; nur operirte man successiv mit directen Strahlen, und mit denselben Strahlen, nachdem sie bald durch eine Platte von natürlichem, schlecht polirtem und mäßig durchsichtigem Steinsalz, bald durch berußtes Steinsalz oder durch eine Glasplatte gegangen waren. Der Einfallswinkel betrug etwa 60° .

Spiegelmetall reflectirte nun von der directen Wärme einer Locatelli'schen Lampe 0,80 bis 0,84. Von derselben Wärme, nachdem sie durch eine $0^m,005$ dicke Glasplatte gegangen, reflectirte sie nur 0,74 und, nachdem sie durch Steinsalz gegangen, 0,82 bis 0,83. Ein Silberspiegel reflectirte von der natürlichen Wärme 0,95 bis 0,96, von der durch $0^m,005$ dickes Glas gegangenen 0,91. Das angewandte Platin reflectirte von der natürlichen Wärme 0,79, von der durch Steinsalz gegangenen 0,77 bis 0,78, von der durch $0^m,005$ Glas gegangenen 0,65 bis 0,66 und endlich von der durch berußtes Steinsalz gegangenen 0,83. — Aus diesen Zahlen geht hervor, daß diejenige Wärme, welche am

*) Compt. rend. T. XXVIII. p. 501. Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 131.

leichtesten das Glas durchdringt, in kleinerem Verhältniß an den untersuchten Metallen reflectirt wird, und dagegen diejenige Wärme, welche in größerer Menge durch beruhtes Steinsalz geht, eine reichlichere Reflexion an denselben Metallen erfährt. Eine Folgerung aus diesen Versuchen ist, daß ein von einem Metallspiegel reflectirtes Wärmebündel im Allgemeinen eine ganz andere Zusammensetzung hat als das eingefallene Bündel und daß es also beim Durchgange durch diathermane Substanzen nicht denselben Verlust erleidet. Dies ermittelten Desains und de la Brevoisne auf folgende Weise. Sie bestimmten 1) den Intensitätsverlust, welchen die Wärme einer Locatelli'schen Lampe beim Durchgang durch eine 0^m,005 dicke Glasplatte erleidet; 2) den Verlust, welchen die Wärme derselben Quelle, nachdem sie zweimal an parallelen Metallspiegeln reflectirt worden, beim Durchgang durch dieselbe Glasplatte erlitt. Im ersten Falle ließ die Glasplatte 0,44 der einfallenden Wärme durch, im zweiten nur 0,33 bis 0,34. — Diese beiden Methoden geben übereinstimmende Resultate, und die beiden genannten Physiker halten es hiernach für festgestellt, daß die verschiedenen Wärmearten an vielen, wahrscheinlich an allen Metallen, ungleich reflectirt werden, und daß die Reflexion an polirten Metallen das Verhältniß der Wärmestrahlen, aus denen das einfallende Bündel besteht, abändert.

Wir reihen hieran eine Untersuchung von Knoblauch *) über den Einfluß, welchen Metalle auf die strahlende Wärme ausüben. Metalle, wie Gold, Silber, Platin, erwiesen sich in dünnen Schichten als diathermane Körper; bei zunehmender Dicke nahm aber die durchgelassene Wärmemenge rasch ab. Um die Veränderung zu erfahren, welche die Zusammensetzung der Wärmestrahlen durch die Metalle erleidet, wurde die Durchgangsfähigkeit der Strahlen durch farbige Gläser (ein rothes, gelbes, grünes und blaues Glas) untersucht, und zwar sowohl vor dem Auftreffen der Strahlen auf die Metallflächen, als nach ihrem Durchgang durch dünne Metallschichten, oder nach ihrer diffusen Reflexion an Metalloberflächen. Die durch Gold gegangenen Wärmestrahlen zeigten ein anderes Verhalten als vor ihrem Durchgang durch dasselbe; auch bei Silber war dies der Fall, doch hatte die aus diesem kommende Wärme eine andere Farbe, d. h. Zusammensetzung, als die durch das Gold gegangene Wärme. Platin dagegen zeigte solche Unterschiede nicht. Es folgte, daß gewisse Metalle, wie Gold und Silber, auf die durchgehenden Wärmestrahlen eine auswählende Absorption ausüben, indem sie eben nicht einen gleichen Antheil jeder Art von Wärmestrahlen, welche auf sie eindringen, zurückhalten. Andere Metalle, wie Platin, lassen alle Arten von Wärmestrahlen in gleichem Verhältniß durch oder hemmen sie in gleichem Verhältniß. Bei jenen Metallen prägen sich daher auch die Eigenthümlichkeiten, welche die Wärmestrahlen nach ihrem Durchgange durch die Metalle besitzen, um so deutlicher aus, je dicker die durchstrahlte Schicht ist, während bei diesen die Metaldicke, so lange sie überhaupt noch Wärmestrahlen hindurchläßt, keinen Einfluß auf die Beschaffenheit der letzteren hat. Platin verhält sich hiernach wie ein grauer Körper sowohl gegen die Wärmestrahlen als auch gegen die Lichtstrahlen. Wärmeweiße Körper, die sich gegen die strahlende Wärme wie durchsichtiger Körper gegen das Licht verhalten, scheint es nicht zu geben; selbst das Steinsalz verräth nach Knoblauch eine auswählende Absorption. — Gold, Silber, Quecksilber,

*) Pogg. Ann. Bd. Cl. p. 161.

Kupfer, Messing ändern die strahlende Wärme durch diffuse Reflexion in ähnlicher Weise ab, wie farbige, undurchsichtige Körper das Licht, während andere Metalle, wie Platin, Eisen, Zinn, Zink, Blei, eine Legirung von Blei und Zinn, Neusilber, die strahlende Wärme, ähnlich wie farblos undurchsichtige Körper das Licht, unverändert zurückwerfen. Diese letzteren Metalle verhalten sich wie graue Körper sowohl gegen das Licht als gegen die strahlende Wärme. Körper, die den undurchsichtigen weißen Körpern gegen das Licht entsprechen, scheint es für die strahlende Wärme nicht zu geben.

Bei Anwendung der Strahlen einer Locatellischen Lampe anstatt der Wärmestrahlen der Sonne verminderten sich die vorbemerkten Unterschiede bezüglich der diffusen Reflexion an Metalloberflächen bedeutend: nur die von Gold zerstreute Wärme besaß noch die Eigenthümlichkeit, reichlicher als die unreflectirte durch das gelbe Glas zu gehen, ein Unterschied, der bei einem heißen Metallsylinder (als Wärmequelle) völlig verschwindet, da von einem solchen Sylinder nur gleichartige (einfarbige) Wärmestrahlen ausgehen. Die von den Metallen bei diffuser Reflexion auf die strahlende Wärme ausgeübte Wirkung ist hiernach wesentlich von der Natur der Wärmequelle abhängig, so daß sie am verschiedenartigsten bei größter Mannichfaltigkeit der ausgesandten Wärmestrahlen ist und vollständig verschwindet, wenn den Metallen nur eine Art von Strahlen dargeboten wird. — Bewirkte die Beschaffenheit der Metalloberfläche eine diffuse Reflexion, so zeigten sich bei demselben Metall auffallende Unterschiede in dem Verhalten der reflectirten und nicht reflectirten Wärmestrahlen; wurde aber die Reflexion in Folge der Politur eine spiegelnde, so verschwanden die besagten Unterschiede vollständig bei den einzelnen Metallen, so daß die Strahlen vor und nach der Reflexion dasselbe Verhalten zeigten. — Die Menge der reflectirten Wärme nimmt zu, in dem Maße, als der Einfallswinkel, bezüglich der Metallfläche, abnimmt; und diese Zunahme hängt ab von dem Grade der Rauheit der Fläche und verschwindet bei hoher Politur. Bei gerigten Metallplatten erscheint dieselbe am geringsten, wenn die Streifen alle rechtwinklig gegen die Reflexionsebene liegen, und sie erreicht ihr Maximum, wenn die Streifen mit dieser Ebene zusammenfallen. Allein auch die Qualität der reflectirten Strahlen ändert sich mit dem Grade der Rauheit, und man kann bei einer und derselben Metallplatte für Einfallswinkel von 2° bis 80° alle Uebergänge von der größten Verschiedenheit der reflectirten und nichtreflectirten Wärmestrahlen an bis zu deren völliger Gleichheit verfolgen.

Das Wärme-Ausstrahlungs- oder Emissionsvermögen der Körper hängt sowohl von ihrer Temperatur als auch von ihrer Oberfläche ab, und es ist auch schon seit längerer Zeit bekannt, daß verschiedene Körper die Wärme bei gleicher Temperatur in ungleichem Maße ausstrahlen. Bei einem und demselben Körper ist die Wärmeausstrahlung verschieden nach der Beschaffenheit seiner Oberfläche und nach seiner Dicke.

Hierher gehörige Wahrnehmungen wurden unter Anderen zuerst gemacht von B. v. Ruschenbroek *), Richmann **) und Rumford ***). Genauere

*) Introd. ad phil. nat. 1762. T. II. p. 640.

**) Nova Comment. Petrop. T. IV.

***) Mém. sur la chaleur. Deutsche Uebers. S. 76, 88, 102–111, 125–131, 159–183, 196, 203 ff., 315–333. Giltb. Ann. Bd. XVII. S. 37–40, 218 ff.

Versuche stellte zuerst Leslie *) an, der hierzu einen hohlen Würfel aus dünnem Metallblech (Messing oder Kupfer) von 4—6 Zoll Weite benutzte. In der oberen Fläche befand sich eine Oeffnung mit konischer Röhre zum Eingießen des heißen oder kalten Wassers, welches letztere mittelst einer Weingeistlampe erhitzt werden konnte. Von den vier vertikalen, äußern Flächen des Würfels war eine Fläche polirt, während die drei anderen mit verschiedenen Substanzen überzogen waren. Diese Würfel wurden nun einem Hohlspiegel gegenübergestellt, in dessen Brennpunkte ein Thermometer angebracht war. Je nachdem nun die eine oder andere Seite des Würfels Wärme nach dem Hohlspiegel strahlte, zeigte das Thermometer, je nach der Beschaffenheit der Oberfläche der Seite, eine ungleiche Temperaturerhöhung. Sodann stellte auch Melloni **) mit einem solchen Würfel Versuche an, benutzte aber anstatt des Hohlspiegels und Thermometers seinen Thermomultiplikator. Die Thermosäule war mit dem kegelförmigen Reflector versehen, dessen Mündung der betreffenden Seite des Würfels zugekehrt wurde. Die Größe der Wärmeausstrahlung wurde bestimmt aus der Größe der Ablenkung der Magnetnadel. Melloni fand, wenn das Ausstrahlungsvermögen von Kienruß gleich 100 gesetzt wird, das von Bleiweiß gleich 100, von Schreibpapier 98, Hausenblase 91, Glas 90, Tusch 85, Gummilack 72, Quecksilber 20, polirtem Eisen 15, Zinn, Kupfer, Gold 12, Silber (gewalzt) 3, von chemisch auf Kupfer niedergeschlagenem 5,37.

Aus dem Vorstehenden erhellt, daß man das Ausstrahlungsvermögen eines Körpers sehr ändern kann, wenn man seine Oberfläche mit einem andern Stoffe überzieht. Und auch auf andere Weise kann eine solche Veränderung bewirkt werden, nämlich durch eine Aenderung in der Härte und Elasticität des Körpers. Polirt man ein Metall durch Hämmern oder Walzen, so wird die an der Oberfläche liegende Schicht härter, wodurch das Ausstrahlungsvermögen verringert wird. Dagegen wird das letztere wieder erhöht, wenn man die härtere Schicht an der Oberfläche durch Feilen, Nagen u. dergl. hinwegnimmt. Diejenigen Körper aber, welche durch das Poliren keine Härtung erfahren, wie z. B. Marmor, Elfenbein, Achat, zeigen im polirten wie im rauhen Zustande dasselbe Wärmeausstrahlungsvermögen. Die Veränderung, welche die Ausstrahlung eines und desselben Körpers durch Nagen seiner Oberfläche erfährt, rührt nach Melloni's Versuchen nur von Modificationen seiner Härte her. Während eine gehämmerte und polirte Silberplatte in Folge ihrer Ausstrahlung 10° Ablenkung am Thermomultiplikator hervorbrachte, bewirkte eine gehämmerte und geritzte Silberplatte 18° Ablenkung; eine gegossene und polirte Silberplatte gab 13°,7 Ablenkung, eine gegossene und geritzte aber nur 11°,3. Wenn das Nagen weiche Stellen des ausstrahlenden Körpers aufdeckt, so wird sein Ausstrahlungsvermögen erhöht, dagegen vermindert, wenn das Nagen eine Verdichtung des Körpers bewirkt. — Knoblauch ***) fand durch seine Versuche den von Melloni aufgestellten Satz bestätigt, daß das Nagen der Oberfläche nur insofern auf das Ausstrahlungsvermögen der Körper

*) An exper. inq. into the nat. and propag. of heat p. 6—17, 18, 76—80, 93 ff., 109—111, 268, 274, 313, 332, 334, 338.

**) Pogg. Ann. Bd. XXXV. S. 572. Bd. XXXIX. S. 561. Bd. LII. S. 580. Bd. LXV. S. 101—115.

***) Pogg. Ann. Bd. LXX. S. 338—344.

von Einfluß sei, als es ihre Dichtigkeit und Härte modificirt, und zwar dasselbe steigere oder vermindere, je nachdem es die betreffenden Stellen auflodere oder verdichte.

Körper in vertheiltem Zustande strahlen die Wärme leichter aus als dichte *).

Mumford nahm zwei vollkommen gleiche Gefäße von Kupfer, jedes mit einem Thermometer versehen; dem einen Gefäß ließ er seinen Metallglanz, das andere überzog er auf seiner Oberfläche zunächst mit einer, dann mit zwei und mit vier Schichten Firniß. Darauf füllte er beide Gefäße mit Wasser von 50° C., hing sie mitten im Zimmer frei auf und beobachtete, in welcher Zeit ein jedes seine Temperatur um 10° senkte. Das nackte gebrauchte dazu immer 45 Minuten; allein bei dem anderen geschah die Temperaturerniedrigung desto schneller, je größer die Zahl der Firnißschichten war, für eine Schicht in 31, für zwei 25,5 und für vier in 20,75 Minuten. Da in den drei letzten Fällen die strahlende Oberfläche immer von gleicher Natur und Größe war, so schloß Mumford, daß die beobachteten Unterschiede nicht von der Luftberührung herrührten, sondern nothwendig von einer Veränderung in der Stärke der Irradiation (Ausstrahlung), die mit der Dicke des aufgetragenen Firnisses zunahm.

Um zu begreifen, bemerkt Melloni **), welcher diesen Versuch Mumford's beschreibt, wie eine Schicht von derselben Substanz, auf gleiche Temperatur erhöht, desto stärker ausstrahle, als sie dicker ist, muß man nothwendig annehmen, daß die Strahlen nicht bloß von der äußeren Oberfläche ausgehen, sondern auch von Punkten, die in einer gewissen Tiefe unterhalb derselben liegen. Dieß beweist auch direct der folgende Versuch von Leslie. Statt die Seitenwände eines cubischen Gefäßes mit verschiedenen Substanzen zu überziehen, bestreicht man sie folgeweise mit mehreren Firnißschichten, füllt das Gefäß alsdann mit heißem Wasser und mißt, nach bekannter Methode, das Ausstrahlungsvermögen des also zubereiteten Würfels. Die Strahlung findet sich desto stärker, je zahlreicher die Firnißschichten sind. Doch ist diese Wirkung nicht unbegrenzt. Denn sobald die Schichten einen Ueberzug von gewisser Dicke gebildet haben, bewirken neu aufgetragene keine Zunahme der Strahlung, sondern diese behält die Stärke, die sie mittelst der früheren Schichten erreicht hatte. Dieser Versuch bestätigt deutlich die Folgerung Mumford's; bis zu einer gewissen Tiefe strahlen die unteren Schichten durch die oberen und verstärken somit die Ausstrahlung der Oberfläche. Melloni ***) stellte in dieser Beziehung einen Versuch mit einem würfelförmigen Gefäß von polirtem Kupfer (Leslie'schen Würfel) an, dessen vier Seitenwände in einer gewissen Ordnung wiederholt mit einem Firniß (bestehend aus 40 Grm. Mastix, 30 Grm. Bernstein, 20 Grm. Sandarac, 15 Grm. Opoponax, 5 Grm. Gummigutt, 350 Grm. concentrirtem Alkohol) bestrichen und dann folgenweise gegen die Säule eines Thermomultiplikators gerichtet wurden. — Der Effect der Strahlung nahm beständig in einer abnehmenden Reihe mit der Zahl der Firnißschichten zu, bis zur sechzehnten, welche die letzte war, deren ausstrahlende Wirkung noch direct nach außen gelangte. Padula fand, auf Veranlassung Melloni's, für diese Re-

*) Vergl. Masson und Courtépeé: Compt. rend. XXV. p. 936. XXVII. p. 592; Institut. 1848. p. 358.

**) Pogg. Ann. Bd. LXV. S. 101.

***) A. a. D. 103 ff.

lationen zwischen der Dicke der Firnisschichten und der Stärke der Ausstrahlung einen entsprechenden mathematischen Ausdruck. Auch Ruß besitzt die Eigenschaft, aus einer beträchtlichen Tiefe unterhalb der Oberfläche nach außen zu strahlen. Melloni verglich rücksichtlich dieser Eigenschaft Firniß und Gold mit einander. Während der Firniß bis zu einer Tiefe von etwa 0,044 Millimeter Wärmestrahlen nach außen sendet, kommen die Strahlen im Golde sicherlich nicht aus einer größeren Tiefe als 0,002 Millimeter.

Lambert *) stellte das Gesetz auf, daß die ausgestrahlte Wärmemenge vom Sinus der Neigung der erhigten Fläche abhängig sei, und dieses Gesetz wurde von Leslie **) experimental dargethan. Stellt man die strahlende Seitenwand des mit Wasser gefüllten Würfels, anstatt senkrecht, schief gegen das Thermoskop, so ergibt sich, daß die Intensität der Strahlung gleich ist der ihrer Projection in normaler Richtung auf das Thermoskop, dergestalt, daß die schiefe Wirkung eines Elements des strahlenden Körpers sich zu dessen senkrechter Wirkung verhält wie der Sinus der Neigung zur Einheit. Fourier zeigte nun, daß dieses Gesetz eine notwendige Folge von der Eigenschaft der Körper ist, von einer gewissen Tiefe unterhalb der Oberfläche her zu strahlen. Ist AB die Oberfläche eines strahlenden Körpers, so werden auch die bis zu einer gewissen Tiefe darunter gelegenen Punkte nach außen strahlen und ihre Strahlen mit denen vermengen, die von den oberflächlichen ausgehen. CD sei die Gränze, von der aus die Strahlungen innerer Punkte der Masse nicht mehr die Oberfläche AB durchdringen. Da im Innern der Körper die Strahlung rasch absorbiert wird, und der zu durchdringende Raum mit der Entfernung von AB wächst, so wird die nach außen fortstrahlende Wärmemenge desto



kleiner, je näher der strahlende Punkt DE liegt. Inzwischen geschieht diese strahlende Fortpflanzung stets in gerader Linie, rings um die verschiedenen zwischen AB und CD liegenden Punkte. — Man betrachte nun ein Oberflächen-Element oder einen unendlich kleinen Streifen ab der strahlenden Oberfläche, und denke sich von der Mitte dieses Elements und mit einem Radius gleich dem Abstände zwischen AB und CD eine Halbkugel beschrieben. Die durch ab ausgesandte Strahlung rührt von allen innerhalb eines solchen Raumes liegenden Punkten her; diese Strahlen werden sich in ab kreuzen und jenseits verlängern, dabei je nach ihren ursprünglichen Richtungen nach allen Seiten divergirend. Um aber die senkrechte Strahlung des Elements mit irgend einer seiner schiefen zu vergleichen, so vergleiche man das Bündel sab mit einem der Bündel s'abe', s''abe'', u. s. w., die das Element ab zur Basis haben, die ganze Halbkugel m'e'n durchdringen und sich auf deren Oberfläche stützen. Nun enthalten die schiefen Bündel weniger Wärme als der senkrechte, und zwar um so weniger, je schiefere sie liegen. Das Verhältniß zwischen den Intensitäten der Bündel ist aber proportional ihren

*) Pyrometrie S. 197.

**) An exper. inq. etc. p. 65—69, 70 ff. 84.

winkelrechten Querschnitten. Nun ist ab der Querschnitt des auf der Oberfläche senkrechten Bündels, und den des schiefen erhält man, wenn man durch das Ende b eine Normale bp auf die gegenüberstehende Seite dieses Bündels fällt. Es verhält sich dann ab : bp = 1 : sin Bas', so daß also das Verhältniß der beiden Wärmeintensitäten entspricht dem Verhältniß der Einheit zum Sinus des Neigungswinkels. — Doch scheint die Erklärung dieses Gesetzes einer gewissen Modification zu bedürfen, und zwar nach Angström in Folge des Umstandes, daß die Wärme, welche in schiefer Richtung von einer Fläche ausstrahlt, durch Brechung polarisirt ist.

Einige Versuche von Leslie ließen diesen vermuten, daß das Wärmeausstrahlungsvermögen der Körper ihrem Absorptionsvermögen gleich sei, und auch einige Versuche von Ritchie *) schienen auf eine Identität dieser beiden Vorgänge, der Emission und Absorption, hinzudeuten. Es unterliegt nun auch keinem Zweifel, daß beide für einen und denselben Körper durch dieselben Mittel befördert oder gemindert werden, und auch darin findet Uebereinstimmung statt, daß nicht allein die Ausstrahlung, sondern nach Knoblauch's Versuchen auch die Absorption bis zu einer gewissen Grenze durch eine Vermehrung der Dicke der Körper gesteigert wird. Auch nimmt man an, daß für Wärmestrahlen derselben Temperatur das Ausstrahlungs- und Absorptionsvermögen ein und desselben Körpers bei gleicher Richtung des austretenden und einfallenden Strahles einander gleich sind. Andererseits lehrten die Versuche Melloni's **), daß ein Körper, welcher bei einer bestimmten Temperatur ein höheres Ausstrahlungsvermögen als ein anderer hat, deshalb noch kein größeres Absorptionsvermögen als dieser besitzt, da das Verhältniß der von ihnen aufgenommenen Wärmemenge mit der Beschaffenheit der ihnen zukommenden Wärmestrahlen wechselt. Eine Substanz aber, welche bei einer gewissen Temperatur (100° C.) mehr Wärme als eine andere ausstrahlt, soll nach Melloni ***) auch stets in demselben Verhältniß mehr als diese absorbiren, wenn sie einer Wärmequelle von derselben Temperatur (100° C.) ausgesetzt wird.

Knoblauch ****) suchte zu ermitteln, „ob das Ausstrahlungsvermögen eines und desselben Körpers verschieden sei, je nachdem er sich durch Strahlen der einen oder anderen Wärmequelle bis zu einem gewissen Grade erhitze.“ Derselbe überzog seines Papies, das über einen Metallrahmen gespannt war, auf beiden Seiten so dick mit Kienruß, daß eine directe Durchstrahlung der Wärme unmöglich war. Wurde nun dieses Papier vor der Thermosäule den Strahlen einer Argand'schen Lampe oder eines auf 80° R. erhitzten Metallcylinders ausgesetzt, welche direct eine gleiche Wirkung auf das Thermoskop ausübten, so erhielt man gewisse Ablenkungen am Multiplikator, welche durch die Erwärmung der Aufschichten von der einen und ihre Ausstrahlung auf der anderen Seite bedingt wurden. Die Wirkung der Absorption war nach früheren Versuchen beidemal dieselbe. Waren also jene Ablenkungen einander gleich, so mußte auch das Ausstrahlungsvermögen in beiden Fällen dasselbe sein; und dies zeigte sich wirklich so. Die Nadel wich auf

*) Pogg. Ann. Bd. XXVIII. S. 378 ff.

**) Pogg. Ann. Bd. XXXV. S. 572 ff.

***) Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 363.

****) Pogg. Ann. Bd. LXX. S. 347 ff.

90,87 ab, man mochte die Strahlen der Argand'schen Lampe oder des erhitzten Cylinders auf die Rußfläche einwirken lassen, vorausgesetzt, daß jede dieser Wärmequellen durch directe Einstrahlung auf die Säule dieselbe Ablenkung von 35° hervorgebracht hatte. — Ähnliches ergab sich, als man Carmine oder schwarzes Papier gegen das Thermoskop ausstrahlen ließ. Das Ausstrahlungsvermögen der untersuchten Körper erwies sich als dasselbe, so verschiedenartig die Wärmestrahlen auch sein mochten, von welchen die Erwärmung ausging. Und weitere Versuche lehrten*), daß unter den Umständen, unter welchen dieselben Körper ein ungleiches Absorptionsvermögen zeigen, ihr Ausstrahlungsvermögen doch ein und dasselbe sein kann, und daß die bisher bei ungleicher Erwärmung beobachteten Verschiedenheiten rein Functionen des ersteren seien, unabhängig von dem letzteren.

Hiernach untersuchte Knoblauch**), ob sich die Wärme, welche bei einer und derselben Temperatur oder innerhalb bestimmter Temperaturgrenzen, von gewissen Körpern ausstrahlt, als verschiedenartig darstellt, je nachdem sie von dem einen oder andern ausgesandt, oder auf ungleiche Weise in ihnen erregt wird. — Zur Beurtheilung der Gleichheit oder Ungleichheit gewisser Wärmestrahlen boten sich zwei Mittel dar, nämlich die Durchstrahlung und Absorption. Verschiedenartige Wärme durchdringt eine und dieselbe diathermane Substanz in ungleicher Weise oder erhitzt einen und denselben Körper in ungleichem Grade, während gleichartige Wärme weder in dem einen, noch in dem anderen Falle Verschiedenheiten zu erkennen gibt. Knoblauch suchte nun die aufgestellte Frage dadurch zu entscheiden, daß er beobachtete, ob die in den verschiedenen Fällen ausgesandte Wärme dieselben diathermanen Körper in ungleichem oder stets in gleichem Verhältniß durchstrahlte. Zunächst wurde nun eine Anzahl athermaner Substanzen durch Leitung auf 80° R. erhitzt, indem man sie auf Metallwürfel aufstrug, welche durch kochendes Wasser bei der genannten Temperatur erhalten wurden. Sollte nun die von verschiedenen Flächen ausgestrahlte Wärme in ihrem Durchgange durch diathermane Körper untersucht werden, so mußte zuvörderst die directe Einstrahlung jeder derselben die nämliche Ablenkung am Thermomultiplicator hervorgebracht haben, ehe man die zur Prüfung dienenden diathermanen Medien zwischen der Wärmequelle und Thermojäule einschalten konnte. Dies wurde dadurch erreicht, daß man die erstere so lange näherte oder entfernte, bis die erforderliche Abweichung der Multiplicatornadel eingetreten war. Hatte die Wärme der unbedeckten Metallfläche durch ein Diaphragma hindurch dergestalt auf die Säule gewirkt, daß die Nadel des Multiplicators auf 35° abgelenkt wurde, so ging diese auf 10°,25 zurück, wenn man rothes Glas von 1^{1/2}, 5 Dicke hinter dem durchbrochenen Schirm auf Seiten des Thermoskops einstellte. Diese 10°,25 rührten von der durch das Glas hindurchgehenden Wärme her. Dieselbe Ablenkung erhielt man, wenn statt der Metallfläche Holz, Porcellan, Papier, Ruß, Bleiweiß oder irgend eine andere Substanz auf das Instrument eingestrahlt hatte. In Verbindung mit dem Resultate, wonach das Verhältniß der durch diathermane Medien hindurchgehenden Wärme constant ist, welche Temperatur der ausstrahlende Körper auch zwischen 25° und 90° R. haben mag, ergab sich, daß die Wärme, welche innerhalb dieser

*) R. a. D. S. 348—351.

**) R. a. D. S. 352—371.

Temperaturgrenzen von den verschiedensten, durch Leitung erhitzten athermanen Körpern bei ungleicher Beschaffenheit ihrer Oberfläche ausgesandt wird, die zu ihrer Prüfung angewandten diathermanen Substanzen auf gleiche Weise durchdringt.

Eine zweite Beobachtungsreihe beschäftigte sich damit, wie sich die von den angeführten Körpern ausgestrahlte Wärme hinsichtlich ihres Durchganges durch diathermane Medien verhalten würde, wenn sie nicht wie in der ersten Beobachtungsreihe durch Leitung, sondern durch Strahlung verschiedenartiger Wärmequellen erhitzt werden. Aus den Beobachtungen ging hervor, daß die von verschiedenen Körpern ausgestrahlte Wärme durch die zu ihrer Untersuchung angewandten diathermanen Medien stets in demselben Verhältniß hindurchgeht, so verschiedenartig auch die Wärmestrahlen sein mögen, durch deren Absorption sie sich erhitzt haben.

Im Hinblick auf die Erfahrung, daß die strahlende Wärme verschiedener Körper (bei übereinstimmender Intensität) eine und dieselbe Substanz auch in gleichem Grade erwärmt, wie sie eine und dieselbe diathermane Substanz auf gleiche Weise durchdringt, kam Knoblauch zu dem Gesamtergebnisse: daß die von den verschiedensten, bisher untersuchten, festen Körpern bei ungleicher Dicke und ungleicher Beschaffenheit ihrer Oberfläche ausgesandte Wärme durch die uns bis jetzt zu Gebote stehenden Mittel als gleichartig erscheint, auf welche Weise sie auch, innerhalb der Grenzen dieser Versuche (d. h. zwischen 25 und 90° R.) in ihnen erregt worden sein mag.

So lange nun ein Körper stets Wärme derselben Art aussendet, wie verschieden auch die ihn erwärmenden Strahlen sein mögen, kann auch sein Ausstrahlungsvermögen, welches die Menge jener Wärme bedingt, unter diesen veränderten Umständen ein und dasselbe sein. Denken wir uns einen athermanen Körper, welcher keine Wärmestrahlen frei durchläßt, so muß gewiß die Summe der absorbirten und reflectirten Strahlen der ganzen Menge der einfallenden Strahlen gleich sein, und hiernach das Absorptionsvermögen mit dem Reflexionsvermögen im umgekehrten Verhältniß stehen. Bei polirten Körpern, deren Diffusion unmerklich ist, sind die absorbirten und reflectirten Wärmemengen fast complementär. Auch geht aus Versuchen von de la Prevostaye und Desains hervor, daß, in Uebereinstimmung mit den Ideen von Fourier, die ausgestrahlte Wärme complementär zur reflectirten ist, falls die ausfahrenden Strahlen von gleicher Natur mit den einfallenden sind. Auf diese Weise haben die genannten Physiker in einer großen Zahl von Fällen die Gleichheit des Emissions- und des Absorptionsvermögens dargethan *).

Nur das Glas schien eine Ausnahme von dieser Regel zu bilden. Die Richtigkeit der allgemein für sein Emissionsvermögen angenommenen Zahl 0,90 fanden dieselben bestätigt. Dann muß aber, falls der obige Satz richtig ist, das Absorptionsvermögen des Glases gleichfalls 0,90 sein, und demgemäß sein Reflexionsvermögen für dunkle Wärme nicht merklich von 0,10 abweichen. Da jedoch das Reflexionsvermögen für leuchtende Wärme, bei normaler oder fast nor-

*) Ann. de Chim. et de Phys. Ser. III. T. XXII. p. 388; Compt. rend. XXIV. p. 60, 684, 967; XXV. 106; vergl. auch Ann. de Chim. et de Phys. Ser. III. T. XVI. p. 384.

malen Incidenz, gewiß sehr nahe 0,04 ist, und überdies sowohl Melloni *) als auch Biot **) versicherten, daß die Wärmestrahlen jeden Ursprunges in gleichem Verhältniß an den polirten Oberflächen diathermaner Körper reflectirt werden, so stellten de la Prevostaye und Desains einen besonderen Versuch an, indem sie das Reflexionsvermögen von schwarzem und gewöhnlichem weißen Glase bestimmten, und dabei als Wärmequelle bald einen Würfel voll Del von 180°, bald eine durch eine Weingeistflamme bis 250° erhitzte Kupferplatte anwandten. Folgende Tafel enthält die erlangten Resultate.

Neigung der Strahlen	Verhältniß der reflectirten Wärme	Emissionsvermögen, daraus hergeleitet	Emissionsvermögen, direct bestimmt
0	{		
25		0,90	0,90
60		0,84	0,84
70		0,75	0,75
75		0,68	0,65

Die beiden letzten Spalten zeigen eine genügende Uebereinstimmung. Die angeregte Schwierigkeit wegen des Absorptions- und Emissionsvermögens des Glases scheint den beiden genannten Physikern hiernach beseitigt.

Dieselben untersuchten bei dieser Gelegenheit auch eine Steinsalzplatte, welche, ohne diatherman für alle Strahlen zu sein, doch 0,83 von derjenigen Wärme niederer Temperatur durchließ, welche das Glas, selbst bei sehr geringer Dicke, vollständig auslöschte. Bei allen Incidenzen unterhalb 30° schien die Reflexion, welche beide Flächen dieser Platte zusammen bewirkten, gleich 0,08 oder 0,09 zu sein. Durch directe Messung fand sich der Durchgang der dunklen Wärme durch diese Platte bei 25° Neigung gleich 0,83 und der Durchgang der leuchtenden Wärme 0,91. Addirt man zu diesen durchgelassenen Wärmemengen die reflectirten, welche ihnen entsprechen, nämlich 0,08 oder 0,09, so erhält man zwei Summen, deren Complementary zur Einheit die Absorption der Platte vorstellen. Diese Absorption scheint nun bei der leuchtenden Wärme unmerklich, nämlich 0,01 und bei der dunklen beinahe 0,08 oder 0,09 ***).

Man kann annehmen, daß alle Körper stets in größerer oder geringerer Wärmestrahlung begriffen sind, der wärmere Körper strahlt gegen den kälteren und dieser gegen jenen Wärme aus. Wells brachte ein Thermometer des Nachts in den Brennpunkt eines gegen den helleren Himmel gerichteten Hohlspiegels; dasselbe sank unter die Temperatur der umgebenden Luft, was daher rührte, daß es mehr Wärme ausstrahlte, als von Seite der Atmosphäre und des Himmels in dasselbe einstrahlte. Die Temperatur eines Körpers ist aber beständig, sofern die in derselben Zeit ein- und ausstrahlenden Wärmemengen einander gleich sind.

*) Pogg. Ann. Bd. XLIII. S. 285.

**) Compt. rend. 1840. p. 468 ff.

***) Compt. rend. T. XXXIII. p. 168. Pogg. Ann. Bd. XC. S. 623.

Hierin besteht das von Prevost *) aufgestellte Princip des beweglichen Gleichgewichts.

Indem die Wärmestrahlen, wie die Lichtstrahlen, sich im Raume verbreiten, nimmt ihre Intensität, gleich der des Lichtes, im umgekehrten Verhältniß des Quadrates der Entfernung von der Ausstrahlungsquelle ab. So fand Lambert **), daß fünf Thermometer, welche der Wärme einer Gluthpfanne in den Entfernungen 12,63; 23,05; 34,51; 46,25; 58,10 ausgesetzt wurden, eine Erwärmung von resp. $15^{\circ},3$; $4^{\circ},7$; $2^{\circ},0$; $1^{\circ},1$; $0,7^{\circ}$ erhielten, was mit dem obigen Gesetze nahe zusammentrifft. Und Melloni ***) fand mit Hülfe seines Thermoskops in den Entfernungen 60, 70, 100 die Erwärmungen $28,73$; $21,10$; $10,34$, fast ganz so, wie es das obige Gesetz verlangt.

Fallen Wärmestrahlen auf einen diathermanen Körper, so werden die frei hindurchdringenden, wie die Lichtstrahlen, unter den gehörigen Umständen eine Brechung erfahren. Melloni brachte vor der Mündung des geschwärzten Rohres (der Thermosäule), dessen Axe aus der Richtung der einfallenden Strahlen herausgerückt war, ein vertical stehendes Steinsalzprisma an, mit seinem brechenden Winkel in den Winkel gestellt, welchen die Wärmestrahlen mit der Axe des Rohres bildeten. War das Prisma nicht da, so zeigte der Multiplicator keine Ablenkung; sobald aber das Prisma vorgelegt wurde, zeigte sich eine bedeutende Ablenkung der Nadel, die aber sofort wieder verschwand, als man den brechenden Winkel nach der anderen Seite richtete. Dies gelang sowohl mit den Strahlen der Lampe, als auch des glühenden Platins und der nicht leuchtenden Wärmequellen. Um die verschiedene Brechbarkeit der aus verschiedenen Wärmequellen ausfahrenden Strahlen darzuthun, nahm Melloni einen eingetheilten Kreisbogen, der mit einem beweglichen Lineal als Radius versehen war, und auf dessen Ende die Thermosäule (bestehend aus einer gewissen Anzahl in einer und derselben Linie senkrecht auf die Ebene des Kreises gestellter Elemente) angebracht war. Durch Hin- und Herführen der Säule auf dem eingetheilten Kreise ließ sich leicht der Punkt des Maximums in dem gebrochenen Wärmespectrum bestimmen. Hatte Melloni das Maximum der Wärme für die vom glühenden Platin ausgehenden Strahlen gefunden, so mußte er, um das Maximum der Wärme bei Anwendung der Locatelli'schen Lampe zu erhalten, die Säule um etliche Linien nach einer Seite hin vorrücken, bei Anwendung von erhitztem Kupfer aber um mehrere Linien nach der entgegengesetzten Seite hin. Auch konnte man durch einen Versuch leicht darthun, daß die dunklen Wärmestrahlen, nachdem sie unter einem gewissen Winkel auf der Hinterfläche des Prismas angelangt sind, in das Innere des Prismas zurückgeworfen werden, und dann zur Vorderfläche heraustreten, ganz wie das Licht. — Wegen dieser Gesetze, die ganz den Gesetzen des Lichtes entsprechen, kann man die Wärmestrahlen auch durch eine Linse in ihrem Brennpunkte sammeln. Am besten eignet sich hierzu eine Steinsalzlense, und sie gewährt auch ein einfaches Mittel, um die Wirkung eines heißen Körpers von kleinen Dimensionen auf größere Entfernungen fortzupflanzen, indem man denselben in den Brennpunkt der Linse stellt,

*) Exposition élémentaire des principes qui servent de base à la théorie de la chaleur rayonnante. Genève et Par. 1832.

**) Pyrometrie S. 197.

***) Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 366.

damit die Strahlen aus der letzteren parallel austreten. Auch kann man zweckmäßig durch Combination zweier Steinsalzlinfen die Wärmestrahlen concentriren und parallel machen.

Die Wärmestrahlen sind auch ebenso, wie die Lichtstrahlen, einer Doppelbrechung fähig, ein Factum, das schon von Berard *) erschlossen wurde. Um diese Brechung in ihrer einfachsten Form auf eine unzweideutige Weise darzutun, ließ Knoblauch **) die von einem August'schen Heliostaten (s. Art. Heliostat) reflectirten Wärmestrahlen (der Sonne) durch ein Paar paralleler Stahlschneiden (von 3^{cm},2 Länge) in ein dunkles Zimmer treten, wo sie durch einen zweiten Spalt gleicher Art hindurchgingen, welcher (10'' von dem ersten entfernt) ebenfalls vertical und jenem vollkommen parallel aufgestellt war. Hinter diesem zweiten Schnitt befand sich 0,5 Zoll entfernt ein 2^{cm},08 dicker Kalkspath, auf dessen natürliche Rhombenfläche von 3^{cm},2 und 2^{cm},75 Seite die Wärmestrahlen auffielen. Alle Theile des Apparates waren durch Metallhürne gegen fremde Einflüsse geschützt. Zur Messung der Wärmewirkungen hinter dem Kalkspath diente eine aus 15 Paaren von Wismuth- und Antimonblättern bestehende Thermosäule, deren 2^{cm},9 lange und 1^{mm} dicke Elemente in einer verticalen Ebene an einander gefügt und so zugeschrägt sind, daß die aus der Messingfassung hervorragenden Enden eine einzige 2^{cm},7 lange, gerade Linie von 0^{mm},26 Breite darstellen. Nur diese Kante war mit Ruß überzogen, und bildete (indem alles Uebrige sorgsam verdeckt war) den einzig wirksamen Theil des Instrumentes. — Wurde nun die mit einem zweckmäßigen Multiplikator verbundene lineare Thermosäule, 1,5 Zoll hinter dem Kalkspath, auf den die Wärmestrahlen senkrecht auffielen, in horizontaler Richtung mittelst einer Mikrometerschraube langsam vorübergerückt, so zeigte sich eine Ablenkung der Multiplikatornadel um 20°,5, darauf ein Rückgang derselben auf 5°, und sodann ein abermaliges Abweichen um 20°,75. Das Instrument gab also zwei durch eine Temperaturniedrigung getrennte Wärmewirkungen an. Hiernach wurde untersucht, wie diese beiden durch die Brechung getrennten Strahlengruppen sich bei der Drehung des Kalkspathes in ihrer Stellung zu einander verhielten. Es fand sich, daß die eine eine unveränderte Stellung beibehielt, während sich die andere um sie herumbewegte. Kurz, es zeigten sich dieselben Verhältnisse wie bei den Lichtstrahlen. Auch fanden alle Erscheinungen der Doppelbrechung nicht statt, wenn man die Wärmestrahlen, anstatt sie auf die Rhombenfläche des Kalkspathes auffallen zu lassen, in einer der krytalographischen Are parallelen Richtung durch denselben hindurchgehen ließ.

Endlich sind auch die Wärmestrahlen, wie die Lichtstrahlen, der Polarisation (s. Art. Polarisation der Wärme) und der Beugung (s. Art. Inflection, Bd. IV. S. 83) unterworfen.

Ueber die Abhängigkeit des Durchganges der strahlenden Wärme durch Kryalle von ihrer Richtung in denselben kam Knoblauch *** zu folgenden Resultaten. Die strahlende Wärme durchdringt gewisse Kryalle des optisch zweiaxigen Systems, wie Dicroit, Topas, Diopsid zc. nach verschiedenen Richtungen hin in

*) Mém. de phys. et de chim. de la société d'Arenuil. T. III. p. 24. Gilb. Ann. Bd. XLVI. S. 382.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 1.

***) Pogg. Ann. Bd. XCIII. S. 161.

ungleicher Menge. Durch den Dichroit z. B. geht sie am besten im Sinne der Mittellinie, weniger gut winkelrecht gegen die Ebene der optischen Axen, im geringsten Maße parallel der Supplementarlinie hindurch. Beim blauen Topas verhält es sich gerade umgekehrt; in der Richtung der Mittellinie geht sie in geringster Menge, winkelrecht gegen die Axenebene reichlicher und im Sinne der Supplementarlinie am reichlichsten.

Nach diesem Durchgange verrathen die Wärmestrahlen, je nach ihrer Richtung im Krystall, ungleiche Eigenschaften, z. B. in ihrem Verhalten gegen diathermane Körper. Verschiedene Krystalle führen auch hierin Verschiedenheiten herbei.

In Rücksicht der polarisirten Wärme können für eine und dieselbe Richtung Unterschiede auftreten, je nach der Lage der Polarisationsebene. So durchdringen z. B. die Strahlen, deren Polarisationsebene mit der Ebene der optischen Axen zusammenfällt, den gelben, blauen Topas zc. parallel der Mittellinie reichlicher als die, für welche jene Ebenen gekreuzt sind, während beim Schwerspath, Hornblende, Pistacit, Glimmer, Dichroit zc. gerade das Umgekehrte stattfindet. — Auch in ihrer Fähigkeit, diathermane Körper zu durchdringen, unterscheiden sich die in verschiedenen Ebenen polarisirten Wärmestrahlen nach ihrem Durchgange durch den Krystall oft von einander. Vergleicht man die in dem nämlichen Sinne polarisirten und in der nämlichen Richtung hindurchgehenden Strahlen, so bietet sich nicht allein bei verschiedenen Krystallen, sondern selbst bei zusammengehörigen Krystallen, wie gelbem, blauem Topas zc. die größte Mannichfaltigkeit dar. — Bei einem und demselben Körper, z. B. Glimmer, nehmen die quantitativen wie die qualitativen Unterschiede der in verschiedenen Ebenen polarisirten Strahlen mit der Dicke der durchdrungenen Schichten zu.

Wenn die Wärmestrahlen durch gewisse Krystalle des optisch einaxigen Systems, wie Amethyst, Idocras zc. hindurchgehen, so zeigen sie gleichfalls sowohl quantitative als auch qualitative Verschiedenheiten, je nachdem sie den Krystall in der einen oder anderen Richtung durchdrungen haben. Diese Verschiedenheiten zeigen sich beim Durchgange parallel der Axe und winkelrecht gegen dieselbe, während kein Unterschied irgend einer Art in dem Verhalten der Wärmestrahlen vorhanden ist, welche bei der größten Mannichfaltigkeit ihrer Richtungen sämmtlich rechtwinklig zur Axe sind. Und hierin liegt eine Abweichung von den Erscheinungen an optisch zweiaxigen Krystallen, bei welchen die gedachten Unterschiede der strahlenden Wärme nach drei, auf einander rechtwinkligen Richtungen wahrgenommen werden.

Polarisirte Wärme zeigt, je nach der Lage der Polarisationsebene, Verschiedenheiten bei einer und derselben Richtung. Die Durchstrahlungen senkrecht zur Axe bieten aber, unter sich verglichen, Uebereinstimmendes dar. Nur längs der Axe ist der Durchgang der Wärme und ihr sonstiges Verhalten von der Polarisationsebene unabhängig.

Bei polarisirten Strahlen sind die Unterschiede beim Durchdringen des Krystalls nach den verschiedenen Richtungen größer als bei den natürlichen, falls die Polarisationsebene bei diesen Durchgängen der Strahlen das eine Mal der Axe gleich gerichtet ist, das andere Mal einen Winkel von 90° mit derselben bildet. Diese Unterschiede verschwinden aber vollständig, wenn die Polarisationsebene stets mit der Axe zusammenfällt.

Es fand sich, daß auch an Krystallen des regulären Systems, wie farbigem Flußspath, blaugestreiftem Steinsalz etc. Unterschiede der Menge wie der Eigenschaften der Wärmestrahlen auftreten können, je nachdem dieselben in der einen oder anderen Richtung hindurchgegangen sind. Diese Erscheinungen zeigen sich z. B. bei vorkommenden Schichtungen in den betreffenden Körpern. — Bei polarisirter Wärme zeigte sich ganz dasselbe; und für eine und dieselbe Richtung der Strahlen hat die Lage der Polarisationsebene in diesen Fällen durchaus keinen Einfluß.

Weil Steinsalz ein sehr diathermaner Körper ist, so läßt sich ein daraus verfertigtes Prisma vorzugsweise gebrauchen, um die Vertheilung der Wärme im Sonnenspectrum kennen zu lernen. Versuche lehrten, daß die Sonne Wärmestrahlen von sehr verschiedener Brechbarkeit aussendet, und daß der Ort der größten Wärme des Sonnenspectrum noch etwas jenseits der rothen Strahlen liegt. Nach Seebeck's Versuchen ist dieser Ort veränderlich mit der chemischen Natur der Substanz, aus welcher das zur Bildung des Spectrum verwendete Prisma besteht. Bei einem Prisma aus Crownglas befindet sich dieser Ort (das Maximum der Wärme) im Roth, bei einem Prisma aus Schwefelsäure im Orange, und bei einem mit Wasser gefülltem Prisma im Gelb. Den Grund dieser Verschiedenheit fand man darin, daß die Wärmestrahlen des gewöhnlichen Sonnenspectrum keine gleiche Veränderung erleiden, wenn man sie z. B. durch Wasser gehen läßt. Die brechbarsten gehen vollständig durch, während die wenig brechbaren völlig aufgehalten werden. Nun sind die auf das Roth eines Wasserprisma fallenden Wärmestrahlen weniger gebrochen als die auf Orange und Gelb fallenden. Daher werden die im Roth als die weniger brechbaren durch das Wasser auch stärker absorbiert als die im Orange, und diese wieder mehr als die im Gelben. Die wachsenden Verhältnisse in den Verlusten der weniger brechbaren Strahlen bewirken deshalb ein Maximum der Wärme im Gelb. Da die Schwefelsäure in ihrer Wirkung dem Wasser analog aber schwächer ist, so wird bei einem Schwefelsäureprisma das Maximum im Orange stehen bleiben. Wendet man zu Prismen weniger als Crownglas wirkendes Glas an, so muß das Maximum sogar aus dem Roth heraustreten, und so fanden es auch Herschel, Englefield und Seebeck bei Flintglasprismen in dem dunklen Raume, dicht bei der Zone des rothen. Hiernach ließ sich vermuthen, daß, je diathermer die Substanz, das Maximum der Wärme desto mehr nach der Seite des Roth (wenn wir vom Gelben ausgehen) und selbst darüber hinausliege. Ein Steinsalzprisma mußte also das Maximum der Wärme noch weiter vom Roth entfernt in dem dunklen Raume zeigen, und bei dem Versuch lag es wenigstens ebenso weit in der dunklen Zone von Roth entfernt, als dieses vom Grünblau. Es ging aber auch aus den Versuchen hervor, daß die Lage des Wärmemaximums nicht bloß von der Substanz, sondern auch von der mittleren Dicke des Prismas abhängen muß. Nimmt man ein großes hohles mit Wasser gefülltes Prisma, dessen Maximum im Gelb ist, und bedeckt einen Theil seiner Seitenfläche mit einer undurchsichtigen Platte, so nähert sich das Maximum desto mehr dem Roth, je kleiner der Theil ist, welcher auf der Seite der Kante entblößt bleibt. In einem Prisma, das nicht aus Steinsalz besteht, werden die Wärmestrahlen, welche nahe an der Kante des Prismas eindringen, in größerer Menge durchgehen, weil die Absorption der Wärme mit der Dicke zunimmt, obschon es bei der großen Mannichfaltigkeit der Wärmestrahlen auch solche geben wird, welche das Prisma an einer

dicke Stelle durchdringen, daher es einleuchtet, daß das gebrochene Strahlenbüschel von dem einfallenden merklich verschieden sein muß.

Auch jenseits des Violett giebt es im Spectrum noch, wie zuerst Ritter fand, Strahlen, die also noch brechbarer als die violetten Lichtstrahlen sein müssen, und die nach Melloni auch eine geringe Wärmewirkung ausüben. Diese Strahlen jenseits des Violetts sind durch ihre chemische Wirksamkeit bekannt, und man nennt sie deshalb wohl auch schlechtthin die chemischen Strahlen *). Vergl. hierüber weiter unten im Texte.

Draper **) untersuchte die Natur der Farben, die ein glühender Körper bei steigender Temperatur entwickelt. Derselbe gebrauchte einen Platinstreifen, der durch Wirkung eines Volta'schen Stromes ins Glühen versetzt wurde. Der Streifen war senkrecht, $1\frac{1}{3}$ Zoll lang, $\frac{1}{20}$ Zoll breit, oben an einem Ständer befestigt, und unten ausgestreckt durch ein kleines Gewicht, versehen mit einem Kupferdraht, der in einem darunter gestellten Napf mit Quecksilber tauchte. Das Quecksilber und das obere Ende des Platinstreifens verband man mit den Polen einer Grove'schen Batterie, deren Stärke mittelst eines Wheatstone'schen Rheostats etwa eine Stunde constant gehalten wurde. Um die Ausdehnung des Streifens zu messen, war an seinem freien Ende ein langer und sehr dünner horizontaler Hebel angebracht, in solcher Weise, daß der Befestigungspunkt sich demjenigen Ende des Hebels sehr nahe befand, der sich um einen Stift drehte, während das andere Ende vor einer getheilten Scala schwebte, und so wie das Gewicht mit dem Drahte vermöge der Ausdehnung des Streifens herabsank, eine mehr oder weniger schiefe Lage gegen den Horizont annahm und an dem getheilten Bogen die gesuchten Größen anzeigte. Die Temperaturen wurden dann unter der Voraussetzung berechnet, daß sie der Ausdehnung des Platins proportional seien, unter Anwendung des Coefficienten von Dulong und Petit. Diese Berechnungen waren leicht zu machen, wenn die Länge des Streifens und des Hebels, so wie die Lage ihres Befestigungspunktes bekannt waren. Bei dem von Draper angewandten Instrument entsprach jeder Grad des getheilten Bogens einer Erhöhung von 115° F. über die Temperatur der Luft.

Beginnt man nun mit einem schwachen Strom, dessen Stärke mittelst des Rheostats allmählig vergrößert wird, so erhöht sich die Wärme in den Streifen und macht ihn endlich sichtbar rothglühend in dem dunklen Raum, in welchen die Versuche angestellt werden. Man beobachtet dann den Grad, auf welchem der Zeiger steht. Der Versuch wird mehrmals und mit Hülfe verschiedener Personen wiederholt, — die einige Zeit im Dunklen verweilen müssen, damit ihre Augen die erforderliche Empfindlichkeit erlangen, — und aus dem Mittel aller Beobachtungen die Temperatur berechnet, bei welcher das Platin anfing rothglühend zu werden. Nach den Versuchen Draper's beträgt diese Temperatur 977° F. (420° R.). Bei dieser Gelegenheit untersuchte Draper auch, ob alle Substanzen bei gleichen

*) Die chemische Wirkung der Lichtstrahlen findet sich näher besprochen im Artikel Licht, Bd. IV. S. 476. — Wir verweisen hier noch auf die photochemischen Untersuchungen von Bunsen und Roscoe: Pogg. Ann. Bd. C. S. 43. 481; Bd. Cl. S. 275, (im Auszuge Journ. für prakt. Chemie. Bd. LXXI. S. 130, 138).

**) Phil. Mag. (1847) Vol. XXX. p. 343. Melloni ibid. Ser. III. Vol. XXXII. p. 262. Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 62.

Wärmegraden rothglühend werden, indem er viele derselben in einem Flintenlauf, dessen Ründloch verschlossen wurde, brachte, und denselben im Feuer rothglühend machte und aufmerksam den Moment beobachtete, wo das Glühen des Laufes und der darin enthaltenen Substanz sich zu zeigen anfing. Der Flintenlauf und die nach einander eingebrachten Substanzen schienen nun gleichzeitig leuchtend zu werden und auch gleichzeitig diese Eigenschaft (im Dunkeln) während des Erhaltens zu verlieren. Einige Substanzen, z. B. Blei, wurden erst einige Zeit nach dem Schmelzen glühend, woraus man folgerte, daß die zum ersten Auftreten des Glühens erforderliche Temperatur nicht vom starren Zustand des Körpers abhängt, sondern bei allen Substanzen stattfindet, die sich bei 977° F. flüssig halten, ohne zu kochen. Ausnahmen sind jedoch Flußspath und Marmor, und wohl alle Substanzen, welche die Eigenschaft der Phosphorescenz besitzen.

Draper stellte nun ein Prisma von reinem Flintglas in einem gewissen Abstände von dem Platinstreifen senkrecht auf, nachdem er zuvor an dem Orte, den das Platin einnehmen sollte, eine Metallplatte mit einem senkrechten Spalt von gleicher Größe wie dieses angebracht und durch denselben ein Bündel Tageslicht geleitet hatte. Das aus dem Durchgange dieses Bündels durch das Prisma entstehende Spectrum wurde mit einem kleinen, mit Mikrometersfäden versehenen Fernrohr aufgefangen und in seinen einzelnen Theilen sorgfältig untersucht, um genau die Lage der Fraunhofer'schen dunklen Linien zu bestimmen. Dann wurde der Platinstreifen an denselben Ort gebracht und die Beobachtung der Spectra vorgenommen; die derselbe zu verschiedenen Zeiten des Glühens erzeugte, indem man die Ausdehnung des Spectrums durch die genannten dunklen Linien bestimmte. — Es ergab sich folgendes. Das Spectrum des Platinstreifens, welches dem rothen Ende des prismatischen Spectrums entspricht, ist anfangs sehr kurz und enthält nur die weniger brechbaren Farbstrahlen, so wie aber die Temperatur steigt, dehnt sich das Spectrum des Glühens gegen das violette Ende hinaus, erlangt die mehr brechbaren Farbstrahlen und zuletzt alle Farben, und die ganze Ausdehnung des Sonnenspectrums, mit Ausnahme der äußersten Strahlen an beiden Enden, die offenbar wegen ihrer ungemeinen Schwäche dem Beobachter entgehen.

Aus allen hierauf bezüglichen Beobachtungen folgte, daß, wenn das Glühen eines Körpers durch Erhöhung seiner Temperatur lebhafter und glänzender wird, nicht nur eine Vergrößerung der Intensität des resultirenden Lichtes, sondern auch eine in der Mannichfaltigkeit der dasselbe zusammensetzenden elementaren Farben stattfindet; überdies erfolgt ein Zusatz von desto brechbareren Strahlen als die Temperatur des glühenden Körpers höher ist. Hiermit ist eine innige Analogie zwischen der allmäligen Entwicklung von Wärme und der von Licht festgestellt. Auch fand Melloni, daß die Strahlen, welche aus Quellen von hoher Temperatur herkommen, mehr brechbare Elemente enthalten, als die aus nicht so heißen Quellen.

Mittels einer Thermosäule, die Draper in einem gewissen Abstände vom Platinstreifen aufstellte, um für jede Phase des Glühens die Ablenkung des Multiplikators zu beobachten, ergab sich noch im Vergleich mit den entsprechenden Lichtmengen, die von dem Platinstreifen ausgesendet wurden, daß die Strahlungen des Lichtes und der Wärme im Fortschreiten der Quantität dieselbe Analogie befolgen wie im Fortschreiten der Qualität.

Es sei hier erinnert an eine Untersuchung Knoblauch^{*)}, nach welcher die Mannichfaltigkeit der von einem und demselben Körper ausgehenden Wärmestrahlen bei höheren Wärmegraden größer ist als bei niederen, aber nicht beständig mit der Temperatur wächst und nicht in wahrnehmbarer Beziehung zum Ausstrahlungsvermögen steht, während die Reihe, welche gewisse, nach der Verschiedenartigkeit ihrer Wärmestrahlen geordnete Quellen bilden, derjenigen gleich ist, welche sie darstellen, wenn man sie nach der Mannichfaltigkeit der von ihnen ausgesendeten sichtbaren Strahlen anordnet.

Wir wollen nun hier eine Untersuchung von Franz^{**)} hervorheben, welche die Beziehung zwischen der Farbe und Diathermanität zu ihren Gegenstände hat, oder die Beziehung, in welcher der bei der Durchstrahlung gewisser gefärbter Medien eintretende Wärmeverlust der einzelnen Spectralfarben zum Lichtverlust steht. Vermittelt eines Heliostraten wurde ein horizontaler Sonnenstrahl in ein dunkles Zimmer durch einen 2^{mm} breiten Spalt geleitet und vermöge eines Soleil'schen gleichseitigen Flintglasprisma von 35^{mm} Seitenlänge, das so gestellt war, daß der Lichtstrahl die kleinste Ablenkung erfuhr, ein Sonnenspectrum gebildet. 8^{cm} vom Prisma entfernt stand eine cubische Flasche, die an zwei gegenüberstehenden Seiten durchbohrt war. Diese Durchbohrungen hatten 3^{cm} im Durchmesser und waren mit Messingfassungen umgeben, auf die einander parallele Glasplatten aufgeschliffen waren. Horizontal ausliegende Gummibänder hielten die Glasplatten oben und unten fest. Daß auf die Flasche fallende leuchtende und nicht leuchtende Spectrum, welches mit seiner oberen und unteren Grenze die Gummibänder eben traf, ging mit seinen einzelnen Farben in gleichen Längendimensionen durch die Flasche hindurch. Das Roth des Spectrums fiel auf die Mitte der die Flasche schließenden Glasplatten. In 5^{cm} Entfernung von der Flasche stand ein Schirm mit einem Spalt von 3^{cm} Oeffnung, und hier hatte das sichtbare Spectrum eine Ausdehnung von 18^{mm}. An diesem Schirme befand sich eine feine Spitze, die sich an einem in Millimeter getheiltem Maßstabe, der auf einem besonderen Stativ befestigt war, fortbewegte, wenn der Schirm in horizontaler Richtung senkrecht gegen die Strahlen verschoben wurde. Nun stand die Spitze auf 0 des Maßstabes, falls der rothe Theil des Spectrums den Spalt des Schirmes durchstrahlte; zeigte die Spitze auf — 3, so durchdrangen die Strahlen der ersten dunklen Zone den Spalt; bei der Stellung auf + 3 gingen Orange und Gelb durch den Spalt; bei + 6 Grün und die Grenze des Blau; bei + 9 Blau; bei + 12 Indigo; bei + 15 Violett. In einer Entfernung von 9^{cm} war hinter dem Schirm eine Thermosäule aus 24 Bismuth-Antimonpaaren aufgestellt, und zwar in Form der von Nobili angegebenen Schlagsäule^{***)}. Dieselbe stand in Verbindung mit einem Spiegelgalvanometer, dessen Ablenkungen vermittelt eines Fernrohrs an einer 2^m vom Spiegel entfernten Scala abgelesen wurden. Die hieraus sich ergebenden Temperaturen konnten den auf die Thermosäule wirkenden Wärmemengen proportional gesetzt werden. Der Einfluß des Erdmagnetismus auf das Galvanometer wurde durch seitlich angebrachte Magnetenadeln geschwächt. Um aber die fortdauernde Strahlung auf die Glasflasche, in welche nach einander verschieden

^{*)} Pogg. Ann. Bd. LXXI. S. 38.

^{**)} Pogg. Ann. Bd. CI. S. 46; vergl. auch Bd. XCIV. S. 337.

^{***)} Pogg. Ann. Bd. XXXVI. S. 340.

gefärbte Flüssigkeiten gebracht wurden, zu verhindern, diente ein doppelter Metallschirm, der nach jedem Versuche zwischen Prisma und Blende gestellt wurde.

Es zeigte sich nun, daß die einzelnen Wärmefarben des Spectrum eines Flintglasprisma durch verschieden gefärbte Flüssigkeiten in ungleicher Menge strahlen. Nach dem Durchgange des Spectrum durch Kochsalzlösung, Wasser und Alkohol liegt das Maximum der Wärme im Roth nahe am Gelb; nach dem Durchgange durch concentrirte Lösungen von chromsaurem und saurem chromsaurem Kali mitten im Roth; durchstrahlt das Spectrum Wasser, welches durch Zusatz von Rhodankaliumlösung und Eisenchloridlösung roth oder durch eine Indigo-lösung blau gefärbt ist, so liegt das Wärmemaximum im Roth, nahe der ersten dunklen Zone; bei schwefelsauren Eisenorydullösungen im Gelb, bei einer Lösung von schwefelsaurem Kupferoryd, welche auf 10 Theile einen Theil der bei 120° C. concentrirten Lösung enthält, im Grün.

Das benutzte Spectrum enthielt zwar keine ganz homogenen Farben, aber es ließ sich durch Rechnung nachweisen, daß bei den Versuchen die Strahlen von bestimmter Brechbarkeit so wenig in einander übergriffen, daß bei der gewählten Entfernung der Thermo säule und bei der gewählten Enge des Spaltes, z. B. Strahlen von der Wellenlänge der die Frauenhofer'sche Linie B begrenzenden nur etwa bis zur Linie D sich ausbreiteten, mithin eine Einwirkung der dunkeln strahlenden Wärme von geringerer Brechbarkeit als das Roth nur im Roth, aber nicht in den stärker gebrochenen Zonen beobachtet werden konnte. Hiernach ist die im Gelb und in den folgenden Farben nachgewiesene Wärme von gleicher Brechbarkeit mit den Farbstrahlen. Nun läßt sich aber eine Identität von Wärme und Licht hier nur insofern behaupten, als das Minimum des Lichtverlustes bei Strahlung des Spectrum durch eine Flüssigkeit mit dem Minimum des Wärmeverlustes in derselben Zone beobachtet wird. Wirklich zeigten nun auch die blauen Lösungen von schwefelsaurem Kupferoryd das Minimum des Wärmeverlustes nach der Strahlung des Spectrum durch dieselben in der blauen Zone, die grünen Lösungen des schwefelsauren Eisenoryduls in der grünen Zone. Von allen durch rothe Lösungen dringenden Farbstrahlen verlieren die rothen am wenigsten Licht und Wärme; zum Theil sind rothe Lösungen für dunkle Wärme von geringerer Brechbarkeit als das Roth, diathermaner als das Wasser. —

Die Fortpflanzung der Wärme durch Strahlung ist in ihrer Erscheinung zu trennen von der Verbreitung der Wärme durch Leitung. Die Wärmestrahlen, insofern sie durch einen diathermanen Körper frei hindurchgehen, tragen, wie wir wissen, nichts zur Erwärmung des Körpers bei. Diese letztere rührt von den absorbirten Wärmestrahlen her. Wird nun ein fester Körper an irgend einer Stelle erwärmt, also seine Temperatur hier erhöht, so verbreitet sich die Wärme von dieser Stelle aus nach allen benachbarten, kälteren Theilchen des Körpers fort; jedes wärmere Theilchen giebt an sein benachbartes kälteres Theilchen Wärme ab, wodurch es selbst eine Temperaturerniedrigung erfährt. So pflanzt sich die Wärme von der erhitzten Stelle aus durch die Masse des Körpers fort, bis endlich ein gewisses Gleichgewicht der Temperatur eintritt, das stattfindet, falls jedes Theilchen an Wärme ebenso viel empfängt als es davon verliert. — Denkt man sich zwei verschiedene Körper von ungleicher Temperatur in einer gewissen Entfernung einander gegenüber, so wird jeder Wärmestrahlen aussenden; der kältere erwärmt sich, insofern er von den Strahlen des wärmeren mehr oder weniger absorbiert. Indem

aber diese Strahlen das dazwischenliegende Medium durchdringen, erfährt das leptere keine Erwärmung. In diesem Falle pflegt man nun zu sagen, daß der wärmere Körper dem kälteren seine Wärme durch Strahlung mittheile. Denkt man sich aber beide Körper in unmittelbare Berührung mit einander, so theilt der wärmere Körper den Theilchen des kälteren, mit denen er eben in unmittelbarer Berührung steht, Wärme mit, die sich dann weiter durch die Masse des kälteren Körpers fortpflanzt. Und eine derartige Mittheilung von Wärme nennt man gewöhnlich Leitung.

Bei der Fortpflanzung der Wärme durch die Masse eines festen Körpers, d. h. bei der Leitung derselben, kommt die Frage in Betracht, wie viel Wärme durch einen Querschnitt $= 1$ des Körpers nach einer gewissen Richtung in der Zeiteinheit geht. Ist die Temperatur auf der einen Seite dieses Querschnittes t und die etwas niedrigere auf der anderen Seite t' , so läßt sich die Wärmemenge, welche von der wärmeren zur kälteren Seite geht, der Differenz $t - t'$ proportional setzen, insofern wir diese Differenz als sehr klein annehmen können. Sodann wird die Geschwindigkeit der Wärmeverbreitung durch die Natur des Körpers, den wir in seiner ganzen Masse als homogen betrachten, bedingt sein. Sei nun k ein Coefficient, welcher die eigenthümliche Leitungsfähigkeit des Stoffes bezeichnet, dann ist die in der Zeiteinheit durch den Querschnitt gehende Wärmemenge gleich $k(t - t')$, und bei einem Querschnitte q hat man für die in der Zeit τ hindurchgehende Wärmemenge $\omega = kq(t - t')\tau$.

Hat man eine prismatische Metallstange von quadratischem Querschnitte, die an einem Ende einer constanten Wärmequelle ausgesetzt ist, so pflanzt sich die Wärme von hier aus in der bezeichneten Weise von einem Querschnitt zum anderen fort, und zwar mit einer Geschwindigkeit, die von der Beschaffenheit des Stoffes abhängt. Jeder Theil giebt seinem benachbarten, je nach der Temperaturdifferenz, eine bestimmte Wärmemenge ab. Nun senden aber die am äußeren Umfang liegenden Theilchen Wärmestrahlen aus, während sie zugleich dem umgebenden Medium (Luft) unmittelbar Wärme mittheilen. Das, was diese Theilchen an Wärme verlieren, wird von den tiefer liegenden Theilchen ersetzt. Zuletzt tritt ein bewegliches Gleichgewicht der Temperatur ein, indem jedes Theilchen an die kälteren (und an die Umgebung) ebenso viel Wärme abgiebt, als es von den wärmeren erhält. Die Temperaturen der Stange sind dann, trotz des fortdauernden Einflusses der Wärmequelle, stationär. — Die Art und Weise, wie sich die Temperatur in einem Körper, durch dessen Masse die Wärme geleitet wird, vertheilt, wurde mathematisch entwickelt von Biot *), Fourier **), Laplace ***) und Poisson ****). Die Verbreitung der Wärme in einem Ellipsoid untersuchte Lamé *****) und Cauchy †) suchte zu einem allgemeinen Ausdruck über die Verbreitung der Wärme im Raume zu gelangen.

*) *Traité de Phys.* T. IV. p. 668. *Mém. sur la propag. de la chaleur.* Par. 1804. *Bibl. Brit.* T. XXVII. *Gilb. Ann.* Bd. XVII. S. 231.

**) *Mém. sur la chaleur.* Par. 1807. *Mém. de l'Acad. des Sci.* T. IV.; T. V. *Théorie analytique de la chaleur.* Par. 1822.

***) *Connaissance de Temps* 1823. *Méc. céleste* Liv. XI.

****) *Journ. de l'Ecole polytechnique* cah. 19, *Théorie mathématique de la chaleur.* Par. 1835. Vergl. auch Dulong und Petit ebenda cah. 18.

*****) *L'Institut* 1^{re} Ann. No. 7.

†) *Exerc.* T. III. p. 121. 146.

Das Gesetz der stationären Temperaturen eines an einem Ende erhitzten Metallstabes läßt sich nun durch die Formel $y = A \cdot 10^{-\frac{x}{m}} \sqrt{\frac{h}{k}} + B \cdot 10^{\frac{x}{m}} \sqrt{\frac{h}{k}}$ ausdrücken *), in welcher y der Temperaturüberschuß der Stelle ist, deren Entfernung vom heißesten Ende $= x$, k eine Größe, welche auf die Mittheilung der

*) Man denke sich eine metallene Stange von geringer Dicke, dergestalt, daß sich die Wärme in allen Punkten ihrer Querschnitte als gleich hoch annehmen läßt. Das eine Ende derselben sei einer constanten Wärmequelle ausgesetzt. Man reflectire auf drei Querschnitte, a , b und c , von denen a der Wärmequelle am nächsten liegen mag (s. nebenstehende Figur). Der Querschnitt b empfängt in jedem Zeitelementen Wärme von a und giebt solche an c zum Theil ab. Zugleich macht sich der Einfluß der Strahlung und der Umgebung geltend. Das Steigen der



Temperatur in b muß aber aufhören, sobald die Wärme, die es von a empfängt, derjenigen gleich ist, die es an c abgiebt und die es durch Strahlung und Mittheilung an die Umgebung verliert. Die Temperatur in b ist dann stationär. Nun ist die Temperatur y der Stange an irgend einer Stelle eine Function der Entfernung x von den heißesten Ende, welches der Wärmequelle ausgesetzt ist. Die Form dieser Function ist zu bestimmen. Die Entfernungen der Querschnitte a , b , c von der Wärmequelle seien x , $x + dx$, $x + 2 dx$, denen die Temperaturen y , $y' = y + dy$, $y'' = y + 2 dy + d^2y$ entsprechen. Hier ist y' kleiner als y und größer als y'' .

Die Schicht ab empfängt nun während des Differentialelements dt der Zeit von a her eine Wärmemenge, die derjenigen gleich zu setzen ist, welche durch die Fläche $= 1$ auf irgend einem Querschnitte der Masse von derselben Substanz wie die Stange und von der Dicke dx gehen würde, falls ihre parallelen Grenzflächen die constanten Temperaturen y und y' erhielten.

Diese Wärmemenge läßt sich durch $k \cdot \frac{y - y'}{dx} \cdot dt$ ausdrücken, wo k die schon oben (im

Texte) angegebene Bedeutung hat. Die Schicht ab theilt nun der Schicht bc durch den Querschnitt b während des Zeitelements dt die Wärmemenge $k \cdot \frac{y' - y''}{dx} \cdot dt$ mit. Diese

Schicht ab verliert aber auch während des Zeitelements dt durch Ausstrahlung an der Oberfläche von der Länge dx eine Wärmemenge, die sich durch $hy dx dt$ ausdrücken läßt, wo h die bereits früher (im Texte) angegebene Bedeutung hat.

Hiernach wird nun von der Wärmemenge, welche der Schicht ab mitgetheilt wird, nur eine Quantität $= (k \cdot \frac{d^2y}{dx^2} - hy dx) dt$ zurückbleiben, die auf die Temperaturerhöhung dieser Schicht verwendet wird. Wenn sich nun diese Wärmequantität in der Schicht ab

gleichmäßig vertheilt, so wird die Temperatur der letzteren in dem Zeitelement dt um $\frac{dy}{dt} \cdot dt$ anwachsen. Multiplicirt man den letzteren Ausdruck mit der Dicke dx der Schicht ab , so läßt sich setzen $\frac{dy}{dt} \cdot dx dt = (k \cdot \frac{d^2y}{dx^2} - hy dx) dt$, oder $\frac{dy}{dt} = k \cdot \frac{d^2y}{dx^2} - hy$.

Sobald aber die Temperaturen der Stange stationär geworden sind, hat man $\frac{dy}{dt} = 0$,

also auch $k \cdot \frac{d^2y}{dx^2} - hy = 0$, oder $\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{h}{k} \cdot y$.

Das vollständige Integral dieser Gleichung ist aber $y = A \cdot 10^{-\frac{x}{m}} \sqrt{\frac{h}{k}} + B \cdot 10^{\frac{x}{m}} \sqrt{\frac{h}{k}}$, wo A , B , m die angegebene Bedeutung haben.

Es ist $\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{h}{k} \cdot y$. Setzt man in dieser Gleichung $\frac{h}{k} = a^2$, so folgt $\frac{d^2y}{dx^2} = a^2 y$,

Temperaturen zwischen den Massentheilen des Körpers Bezug hat und mit der Schnelligkeit dieser Mittheilung zunimmt, h eine vom Strahlungsvermögen der Stange und dem umgebenden Medium abhängige Größe, welche die Geschwindigkeit der Abkühlung eines Punktes an der Oberfläche bezeichnet; A und B sind constante, durch die Natur der Wärmequelle bestimmte Größen, und m ist der Modul der gemeinen Logarithmen, $= 2.302585$.

Die Constante k pflegt man auch den inneren und die Constante h den äußeren Wärmeleitungscoefficienten zu nennen.

Wenn die Stange sehr lang ist, so daß das von der Wärmequelle abgekehrte Ende von dieser keine Einwirkung mehr erfährt, so folgt $y = A 10^{-\frac{x}{m} \sqrt{\frac{h}{k}}}$. Hiernach würden die Temperaturen in geometrischer Progression abnehmen, wenn die Entfernungen von der Wärmequelle in arithmetischen Progressionen zunehmen.

Blot stellte mit Rücksicht auf diese Formel einige Versuche an, aber nach ihm geschah dies in genauerer und umfassenderer Weise von Desprez *).

Für eine Stelle der Metallstange, deren Entfernung von dem heißen Ende x' ist, hat man $y' = A 10^{-\frac{x'}{m} \sqrt{\frac{h}{k}}}$, und hieraus folgt in Verbindung mit der obigen Gleichung $y = A 10^{-\frac{x}{m} \sqrt{\frac{h}{k}}}$, $\log \frac{y}{y'} = \frac{1}{m} (x - x') \sqrt{\frac{h}{k}}$. Aus dieser Gleichung läßt sich nun der Wärmeleitungscoefficient k entwickeln. Man erhält

$$k = \frac{\frac{h}{m^2} (x - x')^2}{(\log y - \log y')^2}.$$

Der Zähler dieses Ausdruckes besteht aus lauter Constanten; bezeichnet man ihn der Abkürzung wegen durch C , so ist $k = \frac{C}{(\log y - \log y')^2}$.

und das vollständige Integral dieser Gleichung ist auch die Function $y = Ae^{-ax} + Be^{ax}$, wo e die Basis der natürlichen Logarithmen ist.

Die Constanten A und B lassen sich durch die Bedingungen bestimmen, daß die Temperatur y für $x = 0$, nämlich für die mit der Wärmequelle in Berührung stehende Schicht, gleich einer gegebenen Größe T sei, und daß für $x = l$ der Werth von $y = 0$ werde, vorausgesetzt, daß die Länge l der Stange so groß ist, daß von der Wärmequelle aus keine merkliche Wärmemenge nach dem entgegengesetzten Ende der Stange gelangen kann.

Setzt man in die Function $y = Ae^{-ax} + Be^{ax}$ nach einander für x die Werthe x' , $x' + i$, $x' + 2i$ etc., so ergibt sich, daß die entsprechenden Werthe y' , y'' , y''' , ... der Temperatur y der Gleichung $\frac{y' + y'''}{y''} = e^{-ai} + e^{ai}$ Genüge leisten. Dieser Quotient ist aber von x und den Constanten A und B unabhängig. Sind nun y' , y'' , y''' , ... die stationären Temperaturen einer Reihe Querschnitte der Stange, deren Entfernungen von der Wärmequelle eine arithmetische Reihe bilden, so hat man $\frac{y' + y'''}{y''} = \frac{y'' + y''''}{y'''} = \dots = e^{-ai} + e^{ai}$.

*) *Traité élément de Phys.* Par. 1825. p. 195. *Ann. de Chim. et de Phys.* T. XIX.; T. XXXVI. p. 422. *Pogg. Ann.* Bd. XII. S. 281.

Desprez benutzte nun zu seinen Versuchen prismatische Stangen von quadratischem Querschnitte, bohrte an mehreren Stellen, jedoch in gleichen Abständen, Löcher in dieselben ein, und füllte diese mit Quecksilber, in welches Thermometer eingesenkt wurden. Das eine Ende der Stangen wurde durch eine Spirituslampe erhitzt, und hierauf der stationäre Stand der Thermometer gehörig abgewartet. Um aber die Wärmeausstrahlung von der Natur des Stoffes unabhängig zu machen, überzog man die Stangen mit einer dicken Schicht Ruß. Die Abstände der Thermometer bildeten eine arithmetische Reihe, und bei verschiedenen Metallen und einigen anderen Substanzen fand sich auch aus dem Stande des Quecksilbers in den Thermometern, daß die Temperaturen nach den Gliedern einer geometrischen Reihe abnahmen. Wenn also die Entfernungen von der erhitzten Stelle aus in einer arithmetischen Reihe zunehmen, so werden die Temperaturen der Stange, von derselben Stelle an gerechnet, in einer geometrischen Reihe abnehmen.

Desprez äußerte, daß nur bei gut leitenden Substanzen und namentlich solchen von homogener Beschaffenheit ihrer Theile die Abnahmen der Temperatur eine geometrische Reihe bilden; die obige Theorie setzt auch die Wärmeleitungscoefficienten als constant voraus, und bezieht sich überdies rücksichtlich der Abkühlung (durch die Umgebung) auf geringe Temperaturüberschüsse. Doch können die Ausnahmen von jenem Gesetze nicht durch ein mangelhaftes Leitungsvermögen erklärt werden, da man dasselbe beim Wasser und auch beim Holz längs der Faser bestätigt fand.

Die relativen Leitungsfähigkeiten verschiedener Substanzen berechnete Desprez, auf Grund seiner Versuche, nach einer von Fourier aufgestellten Formel, welche den Wärmeleitungscoefficienten $k = \frac{1}{(\log x)^2}$ giebt.

Wenn nämlich eine Metallstange vom Querschnitt s und vom Umfange u an irgend zwei Punkten um ein Gewisses über die Temperatur der Umgebung erwärmt wird, und man bestimmt an irgend einer ganz beliebigen Stelle der Stange die Temperaturen t_0 , t_1 und t_2 dreier in gleichem Abstände δ von einander entfernter Punkte, so besteht zwischen diesen Temperaturen die Relation

(s. die Note S. 664): $q = \frac{t_0 + t_2}{t_1} = e^{-\delta \sqrt{\frac{hu}{ks}}} + e^{\delta \sqrt{\frac{hu}{ks}}}$, wo wieder h

die äußere und k die innere Leitungsfähigkeit bezeichnet.

Wird nun $e^{\delta \sqrt{\frac{hu}{ks}}} = x$ gesetzt, so ist der Quotient aus der Division der Summe zweier Temperaturüberschüsse durch den zwischenliegenden Temperaturüberschuß, nämlich $q = x + \frac{1}{x}$, und daher $k = \frac{hu}{s} \delta^2 \frac{1}{(\log x)^2}$.

Hat man nun zwei verschiedene Stangen, aber von gleichem Umfang und Querschnitt, deren Leitungsfähigkeiten k und k' mit einander zu vergleichen sind, so ist $\frac{k'}{k} = \frac{(\log x)^2}{(\log x')^2}$, oder $k : k' = (\log x')^2 : (\log x)^2$.

Desprez fand, wenn das Wärmeleitungsvermögen des Goldes gleich 1000 gesetzt wird, für die nachstehenden Körper die beigefügten Zahlen: für Pla-

tin 981, Silber 973, Kupfer 898, Eisen 374, Zink 363, Zinn 304, Blei 179, Marmor 23, Porzellan 12, Ziegel- und Mauerstein 11.

Gouillaud *) suchte die Genauigkeit der Formel $y = Ae^{-\alpha x} + Be^{\alpha x}$ (s. die Anmerk. S. 664) experimentell zu prüfen und fand: 1) daß, wenn alle übrigen Größen dieselben bleiben, und man nur die Länge des Stabes ändert, der Werth von B sich ebenfalls ändert, nämlich abnimmt, fast wie die Glieder einer geometrischen Reihe, falls die Länge in arithmetischer Progression wächst; 2) daß, wenn man die Länge des Stabes constant und bloß die Temperatur der Wärme-Quelle variiren läßt, B zu- oder abnimmt proportional dem Ueberschuß dieser letzten Größe über die umgebende Temperatur, so daß es durch einen Ausdruck von der Formel kTm^l dargestellt werden kann, worin T der Ueberschuß der Temperatur der Quelle über die Temperatur der Umgebung, l die Länge des Stabes, und k und m zwei constante, bloß von der Natur und Dicke des Stabes abhängige Größen bezeichnen. Da $A = T - B$, so wird die obige Gleichung: $y = (T - kTm^l)e^{-\alpha x} + kTm^le^{\alpha x}$ oder $y = kTm^l(e^{\alpha x} - e^{-\alpha x}) + Te^{-\alpha x}$.

Unter dieser Form, bemerkt Gouillaud, sieht man, wie die Länge des Stabes auf das Gesetz der stationären Temperaturen einwirkt, und weshalb die Gleichung sich auf $y = Te^{-\alpha x}$ reducirt, wenn die Länge etwas groß ist.

Gouillaud stellt einige der vielen, von ihm gemachten Beobachtungen in einer Tabelle zusammen **), bloß um, wie er sich äußert, von der merkwürdigen Uebereinstimmung derselben mit der Formel eine Idee zu geben.

Langberg ***) wies auf Grund einer Reihe von Messungen darauf hin, daß das Gesetz, nach welchem bei einer langen, dünnen Metallstange, deren eines Ende constant über der Temperatur der umgebenden Luft erhalten wird, nach eingetretenem stationärem Zustande der Temperaturen in gleichen Abständen in geometrischer Progression abnehmen, nicht für sicher angesehen werden könne, was daher komme, daß bei seiner Entwicklung die äußere und innere Leitungsfähigkeit der Stange als unabhängig von der Temperatur angenommen worden sei. Die hieraus entspringende Correction läßt sich nur bei sehr geringen Temperaturüberschüssen vernachlässigen.

Langberg benutzte zu Versuchen über die Leitungsfähigkeit der Metalle ein thermoelektrisches Element, das aus einem prismatischen Wismuth- und Antimonstäbchen zusammengelöthet war. Die Löthstelle dieses Elementes war zu einer rechteckigen ebenen Fläche von 1^m,7 Länge und 0^m,7 Breite angefeilt. Die Temperaturen der Stangen, deren eines Ende durch kochendes Wasser erhitzt wurde, bestimmte er nun in der Weise, daß er die Löthstelle des thermoelektrischen Elementes in verschiedenen Entfernungen von der Wärmequelle an die Stangen mittelst einer Feder andrücken ließ und an einem mit dem Element verbundenen graduirten Multiplikator die betreffenden Ausschläge der Nadel beobachtete.

Diese von Langberg zuerst benutzte Beobachtungsmethode scheint eine Fehlerquelle zu vermeiden, welche man bei der Despretz'schen darin gefunden hat, daß die häufigen Unterbrechungen der Continuität der Stangen durch die mit

*) Compt. rend. T. XXIV. p. 699. Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 163.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 164.

**) Pogg. Ann. Bd. LXVI. S. 1.

Quecksilber gefüllten Röhrer der richtigen Vertheilung der Wärme hindernd in den Weg treten. Dennoch hegt Despretz *) die Ansicht, daß der Gebrauch des Quecksilberthermometers der Anwendung des Thermoelementes bei diesen Beobachtungen vorzuziehen sei.

Neuerdings haben Wiedemann und Franz über die Wärmeleitungsfähigkeit der Metalle Versuche angestellt; sie benutzten zu den Temperaturbeobachtungen gleichfalls ein thermoelektrisches Element und suchten einige Uebelstände, die sie bezüglich der Pongberg'schen Beobachtungsmethode vorfanden, zu vermeiden **).

Die Hauptpunkte, welche sie bei Construction ihres Apparates und durch ihre Arbeit zu erreichen suchten, bestanden nach ihrer Angabe in folgenden:

- 1) Die zu untersuchenden Stangen sollten mit einer möglichst gleichmäßigen Oberfläche versehen sein.
- 2) Die Temperaturen der an einem Ende constant erwärmten Stangen sollten im luftgefüllten und luftleeren Raume untersucht werden.
- 3) Dadurch, daß die Temperatur des die Stangen umgebenden Mediums während jeder Versuchsweise genau constant erhalten wurde, sollte die Ausstrahlung derselben möglichst constant erhalten werden.
- 4) Daß zur Messung der Temperaturen der Stangen benutzte Thermoelement sollte möglichst kleine Dimensionen haben; die in demselben entstehenden Eigenströme der Metalle möglichst vermieden werden.
- 5) Daß Thermoelement sollte bei jeder Beobachtung nur sehr kurze Zeit an der Stange anliegen.
- 6) Daß Andrücken derselben sollte möglichst gleichmäßig geschehen, und endlich
- 7) daß zur Bestimmung der Intensität der Thermoströme benutzte Galvanometer eine präcise Ablesung gestatten.

Den in Anwendung gebrachten Apparat beschreiben sie folgendermaßen.

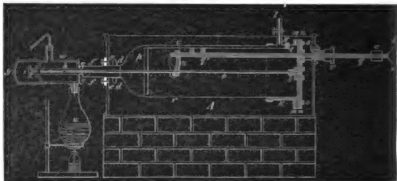
Eine tubulirte Glasglocke 0^m,5 lang, 0^m,16 im Diameter war auf einen 0^m,16 langen Cylinder von starkem Kupferblech luftdicht gefittet. Auf diesen Cylinder war zunächst der Hahn l aufgeschraubt. Sodann trug derselbe an seinem der Glasglocke abgekehrten Ende einen 25^{mm} breiten und 12^{mm} dicken Ring m von Messing (s. umkehrende Fig. I.), auf welchen die gleichfalls 12^{mm} dicke Messing Scheibe n n aufgeschliffen war, und mittelst mehrerer Schrauben s s luftdicht festgedrückt werden konnte. Die Scheibe n n trug in ihrem Centrum eine Hülse e, in welche die dickeren der auf ihre Leitungsfähigkeit zu untersuchenden Stangen mit ihrem Ende hineinpaßten, und mittelst einer seitlichen Schraube festgehalten werden konnten. Zum Befestigen der dünnen Stangen wurde zuerst in die Hülse e noch ein Messingrohr eingeschoben, in dessen Oeffnung sich die Stangen genau einsetzen ließen. Um die Stangen nun auch an den Tubulus d d des Cylinders e zu befestigen, und daselbst zugleich einen luftdichten Verschuß zu bewirken, war die folgende Einrichtung getroffen. In den Tubulus d d war ein Messingrohr e e eingefittet. In dieses Rohr war bei f f ein zweites Rohr g g eingeschliffen, welches durch aufgelegte Gummiringe luftdicht daran festgehalten wurde, und als

*) Compt. rend. Nov. 1852.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 497.

Fortsetzung ein engeres (7^{mm} weites und 120^{mm} langes) Rohr h trug, das hinten mit der Schraube i luftdicht zu verschließen war. In das Fortsetzungsrohr h paßten weitere oder engere Röhren von Messing, in welche das andere Ende der

I.



Stangen eingelegt wurde. — Um die auf diese Weise in der Axe der Glasglocke ausgedehnten Stangen zu erwärmen, war auf das Rohr ein 50^{mm} weiter und 80^{mm} langer Cylinder w von Messingblech aufgeschoben, durch welchen beständig Wasserdampf strömte, der im Kolben u entwickelt wurde. Um das Ende i des Rohres h, so wie den Erwärmungsapparat selbst vor Luftströmungen zu schützen, war außerdem auf den Cylinder w die mit Watte gefüllte Blechkappe y aufgesetzt und der Erwärmungscylinder w gleichfalls mit einer dicken Schicht Watte überwunden. Es theilte sich auf diese Weise die Wärme des Wasserdampfes dem Rohre h, und durch dieses den Stangen mit. Indem sich die Wärme in den Stangen verbreitete, wurden die in dem Cylinder cc gelegenen Theile derselben erwärmt. Nun war erforderlich, an den verschiedenen Stellen daselbst die Temperatur genau zu bestimmen. Dazu diente folgende Vorrichtung:

Die Scheibe nn war oberhalb durchbohrt und trug daselbst ein 140^{mm} langes und 25^{mm} weites Messingrohr, das bei r in eine Stopfbüchse endigte. In dieser Stopfbüchse war vermittelst einer hölzernen Handhabe v das 0^m,83 lange und 6^{mm} weite in Viertelzolle getheilte Messingrohr q q' verschiebbar. Damit dieses Rohr die richtige Lage bewahre, war dasselbe an seinem im Innern der Glasglocke gelegenen Ende q' mit einem kleinen Ringe versehen, welcher sich auf dem in der Glasglocke befestigten Drahte t fortzuschob. Der Draht t selbst war zwischen einem in der Glocke festgekitteten Messingreifen p und einer in den Kupfercylinder k angeschraubten Schraube straff ausgespannt. — An dem Rohre q q' war bei q' eine ziemlich starke Stahlfeder Z angebracht, die an ihrem unteren Ende das Thermoelement trug. Die Feder mit dem Thermoelement zeigt nebenstehende Fig. II. besonders. Die Feder Z war an ihrem unteren Ende aufgeschliffen, und durch eine Schraube ein kleines

II.



30^{mm} langes und 6^{mm} breites Eisenbeinplättchen darauf festgehalten. Dieses Plättchen trug zwei kleine Aufsätze von Messing, auf welche vermittelst zweier Schrauben zwei winkelförmige Vorsprünge von Eisenbein aufgeschraubt waren, zwischen welche die zu untersuchenden Stangen o mit ihrem Querschnitte gerade hineinpassten. — Zwischen den Messingaufsätzen und den Eisenbeinvorsprüngen war das eigentliche Thermoelement aufgespannt, welches aus zwei mit ihrem etwas abgeschrägtem Querschnitt an einander gelötheten Eisen- und Neusilberdrähten von nur 0^{mm},4 Dide bestand. Auf den Enden des Thermoelements waren außerdem die aufgeschlitzten Enden der beiden Kupferdrähte a und b eingeklemmt. Diese Drähte waren durch das mit Schellack und Wachs ausgefüllte Rohr q fortgeführt und außerhalb des Apparates mit den beiden Enden der Leitungsdrähte eines sehr empfindlichen Galvanometers verbunden. Das letztere war ein sogenanntes Spiegelgalvanometer. In einer Kupferhülse, welche an zwei Seiten durch Glasfenster verschlossen werden konnte, schwebte an einem Coconsfaden, der innerhalb einer Glasröhre hing, ein magnetisirter Stahlspiegel, dessen Ebene sich stets in den magnetischen Meridian stellte. Auf zwei Seiten dieses Spiegels befanden sich kupferne Drahtspiralen, von denen jede aus zwei 1^{mm} dicken und 16^{cm} langen Kupferdrähten gewickelt war. Die Enden der letzteren waren an Drahtstücken befestigt, und durch Zwischendrähite zwischen den letzteren konnten die einzelnen Drähte der Spiralen beliebig mit einander verbunden werden. Ging durch die Drähte der Spiralen ein elektrischer Strom, so wurde der Stahlspiegel aus seiner Ruhelage abgelenkt, und es konnte die Ablenkung durch ein Fernrohr an einer etwa 2^m entfernten Scala nach der bekannten Methode der Spiegelablesung beobachtet werden. Die dicke Kupferhülse, in welcher der Stahlspiegel schwebte, übte auf dessen Schwingungen einen so stark dämpfenden Einfluß, daß der Spiegel nach dem Einschlagen des Stromes fast gar nicht um die neu erlangte Gleichgewichtslage hin und her schwankte. — Je nachdem stärkere oder schwächere Ströme mit dem Galvanometer gemessen werden sollten, konnten die Spiralen von dem in der Kupferhülse schwebenden Spiegel entfernt oder ihm genähert werden. Dadurch konnte bewirkt werden, daß das Maximum der Ablenkung des Spiegels nie mehr als 2 bis 3° betrug, und man somit die Ablenkung des Spiegels der Intensität des ablenkenden Stromes selbst ohne Weiteres proportional setzen konnte. In den Versuchen waren die Spiralen ganz über die Kupferhülse hinübergeschoben.

Der oben beschriebene Apparat lag in einem großen Kasten A von Zinkblech, der mit Wasser von konstanter Temperatur (gewöhnlich 12° C.) gefüllt war. Aus diesem Kasten ragte nur der zur Erwärmung der Stangen dienende Theil (s. g. . . i, die Stopfbüchse r und der Hahn l) heraus.

Nachdem eine Stange auf die angegebene Weise dem Apparate eingefügt und durch vierstündiges Heizen des Erwärmungsapparates erwärmt worden war, wurde durch Umdrehen des Rohres q q' um sich selbst das an der Feder befindliche Thermoelement in Abständen von je 2 zu 2 Zoll oder 52^{mm} gegen die Stange gedrückt. In 4 bis 6 Sekunden hatte sich die Wärme der berührten Stelle der Röhre des Thermoelements mitgetheilt und der Spiegel des Galvanometers eine constante Ablenkung erhalten. — Nach Ablesung des Ausschlags wurde das Thermoelement durch Zurückdrehen des Rohres q q' wieder von der Stange entfernt. In der kurzen Zeit des Anliegens des Thermoelements konnte die Wärmevertheilung in der Stange nur sehr wenig verändert sein, um so mehr als dasselbe

nur äußerst geringe Dimensionen hatte. — Wurde durch geringeres oder weiteres Umdrehen des Rohres $q q'$ das Thermoelement schwächer oder stärker gegen die erwärmte Stange gedrückt, so zeigte sich bei Zunahme des Druckes ein Wachsen des Ausschlags bis zu einem Maximum. Ein stärkeres Andrücken änderte dann die Stellung des Spiegels am Galvanometer nicht mehr. Deshalb wurde bei jedem Versuche der Druck so verstärkt, bis das Maximum des Ausschlags erreicht war.

Bei allen Versuchsreihen wurde von dem kälteren Ende der Stange zu dem wärmeren hin beobachtet, damit die Abkühlung, die das Anlegen des Thermoelementes zur Folge hatte, nicht auf die spätere Beobachtung störend einwirkte. Die Beobachtungen im luftleeren Raum geschahen, nachdem die Luft aus dem Apparate durch Verbindung des Hahns I mit einer Luftpumpe und Auspumpen entfernt war, in derselben Weise wie im luftgefüllten Raume.

Bei schlecht leitenden Substanzen gelangte von der Wärmequelle aus so wenig Wärme bis zu den Punkten derselben, wo das Thermoelement angelegt werden konnte, daß eine genaue Messung des Wärmeabfalles nicht wohl möglich war. Um daher die Erwärmung dieser Punkte zu vergrößern, wurden die schlechter leitenden Stangen nicht direct in das Erwärmungsrohr eingesetzt. Dagegen wurde in dasselbe ein genau hineinpassender Kupferstab eingeführt, welcher nicht ganz bis zu der Stelle in dem Cylinder c hineinragte, wo sonst der Nullpunkt der Temperaturableitung für die besser leitenden Stangen sich befand (etwa bei dem Ring p). Dieser Kupferstab war an seinem im Cylinder c befindlichen Ende zu einer etwa 1" langen Höhle ausgebohrt. In diese Höhle wurden die schlechter leitenden Stangen eingesetzt und mittelst einer Schraube darin festgehalten. Wurde nach dieser Anordnung das Erwärmungsrohr erhitzt, so wurde der dem Nullpunkte der Theilung entsprechenden Stelle der schlecht leitenden Stangen durch den dicken gut leitenden Kupferstab eine große Menge Wärme zugeführt. Dadurch erhielt dieselbe eine höhere Temperatur und es konnte jetzt die Wärmevertheilung in der ganzen Stange gut beobachtet werden.

Um den verschiedenen Stangen ein gleiches Ausstrahlungsvermögen für die Wärme zu geben, wurden sie auf galvanischem Wege mit einer sehr dünnen Silberschicht überzogen, und dem Silberüberzug durch eine Korbbürste eine glänzende Oberfläche gegeben. Solche Metalle, welche keine unmittelbare galvanische Versilberung zuließen, waren vorher auf galvanischem Wege mit einer äußerst dünnen Messingschicht überzogen, auf welche der dünne Silberüberzug niedergeschlagen wurde.

Die Versuche gaben *), gleichviel ob sie im luftgefüllten oder luftverdünnten Raume angestellt wurden, nachstehende Reihe, in welcher die später gestellten Körper immer schlechter die Wärme leiten, als die vorgenannten. 1) Dünnere Stangen: Silber, Kupfer, Gold, Messing, Eisen, Stahl, Platin, Neusilber. 2) Dickere Stangen: Messing, Zinn, Blei, Roir'sches Metallgemisch, Wismuth.

Um eine numerische Vergleichung der Leitungsfähigkeiten der verschiedenen Metalle zu erhalten, wurden nach der Fourier'schen Methode aus den ermittelten Quotienten $q \left(= x + \frac{1}{x} \right)$, f. S. 665 ff.) die jedesmaligen relativen Leitungs-

*) N. u. D. S. 509 ff.

fähigkeiten k berechnet. Dabei wurde die Leitungsfähigkeit des Silbers zu 100 angenommen.

Metalle	Für den luftersfüllten Raum		Für den luftverdünnten Raum	
	q	k	q	k
Silber	2,057	100	2,020	100
Kupfer	2,072	77,4	2,025	80,2
Gold	2,093	60,1	2,0315	63,7
Messing I.	2,202	27,9	2,0665	30,2
Messing II. (dick) . .	2,179	25,8	2,063	26,0
Zinn	2,297	15,4	2,099	16,1
Eisen	2,441	13,1	2,172	11,8
Stahl	2,4485	12,8	2,176	11,5
Blei	2,502	9,3	2,176	9,3
Platin	2,670	9,2	2,182	11,7
Neusilber	2,869	6,8	2,246	8,3
Rose'sches Metall . .	3,529	3,2	2,502	3,3
Wismuth	5,104	1,8	—	—

Da nach den Untersuchungen von Regnault die Intensität des in einem Thermoelement erregten Stromes nicht in gleichem Verhältniß zur Temperaturerhöhung der Lötstelle des Elements steht, so bedurften die angegebenen Zahlenwerthe der Beobachtung noch der Correction. Deshalb wurden noch einige Versuche angestellt, um das Verhältniß der Intensität der beobachteten Thermostrome zu der jedesmaligen Temperatur der Stellen der Stangen, an welche das Thermoelement gelegt wurde, genau zu untersuchen *). Hiernach wurden von Neuem die Quotienten q und aus diesen die relativen Leitungsfähigkeiten k berechnet. Es ergaben sich folgende Zahlen. Wir bemerken zugleich, daß den in der Luft angestellten Beobachtungen der Vorzug gegeben wurde, einmal weil sie sich innerhalb geringerer Temperaturunterschiede bewegen, und auch kleine Fehlerquellen der aus ihnen berechneten Werthe von geringerer Bedeutung erscheinen.

Metalle	Für den luftersfüllten Raum		Für den luftverdünnten Raum	
	q	k	q	k
Silber	2,0456	100	2,0145	100
Kupfer	2,062	73,6	2,0195	74,8
Gold	2,086	53,2	2,027	54,8
Messing I.	2,200	23,1	2,058	25,0
Messing II. (dick) . .	2,154	24,1	2,051	23,0
Zinn	2,264	14,5	2,076	15,4
Eisen	2,393	11,9	2,144	10,1

*) N. a. D. S. 524 ff.

Metalle	Für den luftgefüllten Raum		Für den luftverdünnten Raum	
	q	k	q	k
Stahl	2,405	11,6	2,1395	10,3
Blei	2,445	8,5	2,149	7,9
Platin	2,597	8,4	2,163	9,4
Neusilber	2,772	6,3	2,201	7,3
Rose'sches Metall . .	3,434	2,8	2,441	2,8
Wismuth	4,565	1,8	—	—

Die Frage, ob die Leitungsfähigkeit der verschiedenen Metalle mit der Temperatur sich ändere, und ob die an den Metallstangen in gleicher Entfernung beobachteten Temperaturen von einer geometrischen Reihe abweichen, wie Langberg fand, wurde auch von Wiedemann und Franz untersucht *). Und auch nach ihren Versuchen scheint mit zunehmender Temperatur die Leitungsfähigkeit der Körper für die Wärme abzunehmen.

Sodann machen dieselben noch darauf aufmerksam, daß die von ihnen berechneten relativen Leitungsfähigkeiten der verschiedenen Metalle für die Wärme mit den von Rieß, Becquerel, Lenz u. gefundenen relativen Leitungsfähigkeiten derselben Körper für die Elektrizität auf eine bemerkenswerthe Weise übereinstimmen, wie nachfolgende Tabelle zeigt.

Metalle	Leitungsfähigkeit für Elektrizität nach			Für Wärme
	Rieß	Becquerel	Lenz	
Silber	100	100	100	100
Kupfer	66,7	91,5	73,3	73,6
Gold	59,0	64,9	58,5	53,2
Messing	18,4	—	21,5	23,6
Zinn	10,0	14,0	22,6	14,5
Eisen	12,0	12,35	13,0	11,9
Stahl	—	—	—	11,6
Blei	7,0	8,27	10,7	8,5
Platin	10,5	7,93	10,3	8,4
Neusilber	5,9	—	—	6,3
Wismuth	—	—	1,9	1,8

Die genannten Physiker bemerken, daß die von ihnen für die Leitungsfähigkeit der Metalle für Wärme gefundenen Resultate nicht weiter von den für die elektrische Leitung beobachteten Werthen abweichen, wie letztere unter einander. Und wenn man auch nicht direct behaupten könne, daß die Leitungsfähigkeit der Metalle für Elektrizität und Wärme vollkommen dieselbe sei; so ließe sich doch mit Sicherheit

*) A. a. D. S. 528.

der Schluß ziehen, daß die Leitungsfähigkeiten der Metalle für Elektricität und Wärme einander sehr nahe stehen, und wahrscheinlich beide gleiche Functionen derselben Größe sind. Doch kann eine solche Uebereinstimmung nicht stattfinden für die Substanzen, bei welchen die Leitung der Elektricität zugleich mit einer chemischen Zerlegung derselben in ihre Bestandtheile verbunden ist. So wird bekanntlich die Leitungsfähigkeit des Wassers durch einen geringen Zusatz von Säure in Bezug auf Elektricität bedeutend vergrößert, während sie rücksichtlich der Wärme nur wenig geändert wird. — Durch die Bestimmung der Leitungsfähigkeit für Wärme beim Zink sah Wiedemann *) bestätigt, daß die relativen Leitungsfähigkeiten verschiedener Metalle für Wärme und Elektricität einander sehr nahe stehen.

Desprez fand durch einige Versuche, daß bei dem Uebergange der Wärme aus einem Metalle in ein anderes ein Temperaturunterschied stattfindet. Um zu ermitteln, ob dieser Unterschied verschieden sei nach der Natur der Metalle, nahm Angström **) drei Metallstäbe von Kupfer, Blei und Zinn, jeden 30 Centimeter lang und 2,5 Quadratcentimeter im Querschnitt, und schraubte sie in einer gegen diesen Querschnitt winkelfrechten Stellung gegen einander. In jede Stange wurden sechs Löcher gebohrt und diese mit Del gefüllt; die Erhitzung geschah in der Weise, daß eine Kupferhülse, an welcher ein Metallrohr spiralförmig festgelöthet war, über die Stäbe geschoben, und unter das untere Ende der Röhre eine Weingeistlampe gestellt wurde. Die Temperaturbestimmungen zeigten, daß immer ein größerer Temperaturunterschied eintritt, wenn die Wärme vom schlechteren zum besseren Leiter übergeht, als umgekehrt.

Indessen zeigte Wiedemann ***) , daß die Temperaturen zweier mit einer glatt polirten Fläche an einander stoßenden nicht verlötheten Metalle an der Berührungsstelle fast genau gleich sind, was nicht der Fall sein könnte, wenn die Wärme beim Uebergang aus dem einen in das andere wirklich einen Widerstand zu überwinden hätte. Berühren sich aber die beiden an einander stoßenden Flächen nicht recht innig, oder sind sie gar durch einen dazwischen gebrachten schlechten Leiter, z. B. Papier, von einander getrennt, so tritt allerdings ein Temperaturunterschied an den an einander stoßenden Flächen ein, der unter Umständen sehr bedeutend werden kann.

Angström ****) hält es für nothwendig, auch rücksichtlich der thermometrischen Wärme verschiedene Wärmearten anzunehmen. Die Ausnahmen von der gewöhnlichen Annahme, daß die Wärme in einem Stabe von hinreichender Länge in geometrischer Progression abfalle, sollen sich erklären, wenn man verschiedene Wärmearten annimmt, deren Intensität mit verschiedener Schnelligkeit abnehme, was bekanntlich bei der strahlenden Wärme und partiell diathermanen Körpern der Fall ist. Setzt man z. B. bei Desprez's Versuch über die Fortpflanzung der Wärme im Marmor nur zwei Wärmearten voraus, welche beide nach einer geometrischen Reihe mit respective den Coefficienten 14,785 und 1,140 abnehmen, so erhält man nach Angström eine genügende Uebereinstimmung zwischen den berechneten

*) Pogg. Ann. Bd. XCV. S. 337.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 168.

*) Pogg. Ann. Bd. XCV. S. 337.

**) A. a. O. S. 167.

und beobachteten Temperaturen. Marmor ist hiernach, wie auch die meisten Metalle, in Bezug auf die thermometrische Wärme als ein farbiger Körper zu betrachten. — Die Erkaltung eines Metallstabes ist ungleich für die verschiedenen Wärmearten, aber zugleich unabhängig von der Beschaffenheit des Körpers.

Versuche über die relative Wärmeleitungsfähigkeit verschiedener Felsarten hat G. v. Helmersen *) angestellt. Das zu den Versuchen verwendete Material bestand in rechteckigen Stangen von 18 Zoll engl. Länge und $1\frac{1}{2}$ Zoll im Durchschnitt. Auf einer der Längsflächen jeder Stange waren, in $2\frac{5}{8}$ Zoll Entfernung von einander cylindrische Vertiefungen angebracht, in welche vor dem Versuche Quecksilber gegossen wurde, in das man dann die zu diesen Versuchen construirten Thermometer bis zur völligen Bedeckung ihrer Kugeln, tauchte. Um eine ungleiche Wärmeausstrahlung möglichst zu verhindern, wurden alle Stangen mit einer und derselben Substanz, einer dunklen Wasserfarbe, bestrichen. Die Erwärmung geschah mittelst siedenden Wassers, das während der ganzen Dauer des Versuches auf dem Siedpunkte erhalten wurde. Das zu erwärmende Ende der Stange war dabei in ein metallenes Gefäß eingelassen, unter welchem eine Spirituslampe brannte. Jede Stange wurde genau um dasselbe Maß in diesen Wasserbehälter eingelassen, welcher zwei Oeffnungen im Deckel hatte, eine zum Entweichen des Dampfes und Nachgießen siedenden Wassers, die andere zur Aufnahme eines Thermometers. Um eine Erhitzung der Stangen, welche horizontal auf einem Holzgerüste lagen, durch das benachbarte Feuer zu hindern, dienten zwei Pappwände mit dazwischen gelegter Baumwolle. Die Temperatur an den Thermometern der Stange wurde von fünf zu fünf Minuten abgelesen, bis ein Steigen derselben nicht mehr zu bemerken war. Die nachstehende Tabelle enthält die Resultate dieser Versuche. Die Gesteine sind in der Ordnung der abnehmenden Wärmeleitungsfähigkeit aufgeführt.

Erforderliche Zeit, um eine constante Temperatur zu er- reichen	Höchste Temperatur, welche die in den Stangen befindlichen Thermometer erreichten. (R°.)				Temperatur der Zimmerluft	Temperatur des siedenden Wassers	Temperaturunter- schied der Luft und des erwärmten Endes der Stange
	Nr. 1.	Nr. 2.	Nr. 3.	Nr. 4.	R°.	R°.	R°.

1) Weißer Quarz (Gangquarz) aus der Quellgegend des Flusses Tscharysch.
Altai.

115 | 27,05 | 19,4 | 16,7 | 15,7 | 14,6 | 80,1 | 12,45

2) Quarzreicher Glimmerschiefer, aus der Gegend des Dorfes Sludanka im
Altai **).

90 | 25,6 | 18,2 | 15,8 | 14,8 | 14,1 | 80,3 | 11,5

*) Mélanges physiques et chimiques. T. I. 1851. Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 461.

**) Die Lagen des Quarzes und Glimmers verlaufen den Längsflächen der Stange nahezu parallel.

Erforderliche Zeit, um eine constante Temperatur zu er- halten	Höchste Temperatur, welche die in den Stangen befindlichen Thermometer erreichten. (R°.)				Temperatur der Zimmerluft	Temperatur des siedenden Wassers	Temperaturunter- schied der Luft und d. erwärmten Endes der Stange
	Nr. 1.	Nr. 2.	Nr. 3.	Nr. 4.	R°.	R°.	R°.

3) Feinkörniger Granit mit rothem Feldspath, grauem Quarz und wenig Glimmer. Bei Smeinogorsk, Altai.

120	23,7	17,5	15,9	15,4	15,1	80,3	8,6
-----	------	------	------	------	------	------	-----

4) Weißer, feinkörniger Marmor, wie Carrarischer, vom Flusse Kostewka, Altai.

140	23,1	17,1	15,85	15,4	15,0	80,1	8,1
-----	------	------	-------	------	------	------	-----

5) Aphanitoporphyr mit kleinen Abitkrytallen. Fluß Ischarysch im Altai.

145	23,1	16,75	15,3	14,9	14,55	80,2	8,55
-----	------	-------	------	------	-------	------	------

6) Harter Serpentin aus der Gegend der Kolywanischen Steinschleiferei im Altai.

160	22,6	16,9	15,7	15,2	14,75	80,2	7,85
-----	------	------	------	------	-------	------	------

7) Feinkörniger Sandstein mit thonigkalkigem Bindemittel, aus dem Rungatschen Steinbruche im Altai.

150	22,5	16,1	14,85	14,5	13,8	80,2	8,7
-----	------	------	-------	------	------	------	-----

8) Dichter, grauer Kalkstein, vom Ufer der Korbalscha, bei der Silbergrube Petrowskoi im Altai.

140	21,9	16,25	14,9	14,5	14,15	80,2	77,5
-----	------	-------	------	------	-------	------	------

Das Wärmeleitungsvermögen verschiedener Holzarten ermittelten De la Rive und Decandolle. Parallelopipedische Stangen von trockenem Holze (13 Centimeter lang, 4 Centimeter breit und 27 Millimeter dick) waren mit fünf Löchern (7 Millim. weit und bis in die Mitte reichend) in Abständen von 2 Centimetern versehen. Diese Löcher wurden mit Quecksilber gefüllt und in das letztere die Kugel eines Thermometers gesenkt. Das eine Ende des Holzstabes, dessen Oberfläche mit Herzmehl bestreut wurde, war in eine Hülse von Weißblech gesteckt, unter welche man eine Weingeistlampe stellte. Nachdem die Thermometer das Maximum ihres Standes erreicht hatten und etwa 10 bis 15 Minuten stationär geblieben waren, geschah die Ableseung *). Die Resultate enthält nachstehende Tabelle.

*) Mém. de la Soc. de Phys. de Genève, T. IV. p. 70. Biblio. univ. T. XXXIX. p. 206. Pogg. Ann. Bd. XIV. S. 390.

Hölzer	Thermometer nach Abzug der äußeren Temperatur.				
	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5
Weißdorn, Längen- fibern . . .	83 ^o ,00	45 ^o ,00	21 ^o ,20	9 ^o ,20	4 ^o ,40
Rußbaum . . .	80,13	43,00	19,63	9,19	5,13
Eiche . . .	81,70	41,20	17,50	7,20	3,70
Tanne . . .	84,00	39,25	20,60	8,50	3,70
Pappel . . .	79,80	34,20	14,20	6,20	2,80
Rußbaum, Quer- fibern . . .	99,50	37,42	13,19	6,00	3,25
Eiche . . .	79,30	22,75	7,50	3,60	2,40
Tanne . . .	70,90	13,80	4,50	2,50	1,90
Kork . . .	78,50	13,75	3,44	1,56	1,00

Wenn man diese Grade des Centesimalthermometers, allemal die folgenden in die vorübergehenden dividirt, so resultiren folgende Quotienten.

Hölzer	Quotienten			
	1te	2te	3te	4te
Weißdorn, Längenfibern . .	1,84	1,20	2,30	2,10
Rußbaum . . .	1,86	2,19	2,13	1,79
Eiche . . .	1,98	2,35	2,43	1,94
Tanne . . .	2,10	2,30	1,90	2,40
Pappel . . .	2,33	2,40	2,30	2,22
Rußbaum, Quersfibern . .	2,66	2,84	2,20	1,80
Eiche . . .	3,50	3,00	2,10	1,50
Tanne . . .	5,10	3,00	1,40	1,30
Kork . . .	5,70	3,90	2,20	1,56

Die Hölzer leiten also die Wärme nach den Längenfibern besser als nach den Quersfibern.

Zur Ausmittlung der Leitungsfähigkeit von Körpern, welche die Wärme weniger gut leiten, gebraucht man wohl auch das sog. Contactthermometer von Fourier *). Die Kugel eines sehr empfindlichen Quecksilberthermometers steht in einem kugelförmigen Gefäße aus dünnem Eisenblech, dessen Boden aus weichem Leder oder einer dünnen Haut besteht. Dieses Gefäß wird mit Quecksilber gefüllt. Den Körpern, deren Leitungsfähigkeit untersucht werden soll, gibt man die Form einer dünnen Platte, die man auf eine plattenförmige Unterlage von Metall oder Marmor legt. Das Thermometer wird auf etwa 46—48° C. erhitzt und, nachdem es bis auf 45° gesunken, auf den betreffenden Körper gestellt, um die Zeit zu beobachten, in welcher es auf bestimmte Grade herabsinkt. Bezeichnet nun τ die Zeit, in welcher die Temperatur des Thermometers von t auf t' und von t' auf t'' herabsinkt, so hat man $k = \frac{1}{\tau} [\log(t - t') - \log(t' - t'')]$, ein Ausdruck, welcher der Leitungsfähigkeit nahezu proportional ist.

*) Ann. de Chim. et Phys. T. XXXVII. p. 291. Pogg. Ann. Bd. XIII. S. 327.

Kommt es bloß darauf an, zu wissen, ob ein Körper die Wärme besser leitet, als ein anderer, so reicht hierzu in vielen Fällen schon das bloße Gefühl hin; besser geschieht diese Ermittlung aber in der von Franklin und Ingenhousz angegebenen Weise *), nach welcher man den betreffenden Körpern die Gestalt gleich dicker Stäbchen gibt, die man an einem Querholze der Reihe nach befestigt, und dann, nachdem man sie mit einer Schicht Wachs überzogen, gleich tief in heißes Wasser oder Del taucht. Das Wachs wird dann am besseren Leiter weiter abgeschmolzen als am schlechteren.

Zu den besten Wärmeleitern gehören die Metalle und dann die Steine; schlechte Leiter sind die Metalloxyde, glasartige Stoffe, Kohle, Asche, pulverisirte Körper, faserige Stoffe, wie Wolle, Seide, Gewebe verschiedener Art, Haare, Stroh u. s. w.

Von Interesse sind die Wahrnehmungen, welche Senarmont **) bezüglich der Wärmeleitung in Krystallen nach verschiedenen Richtungen machte. In Krystallen, die ein regelmäßiges Gefüge haben, verbreitet sich die Wärme nach allen Richtungen mit gleichmäßiger Geschwindigkeit. Ueberzieht man die Fläche eines homogenen Körpers, wie Glas u., gleichförmig mit einer Schicht Wachs und berührt diese nach dem Erkalten in der Mitte mit der Spitze eines erhitzten Drahtes, so findet ein kreisrundes Abschmelzen des Wachsüberzuges statt, zum Zeichen, daß die Wärme nach allen Richtungen gleichmäßig fortgeleitet wird. Wenn man aber eine Kalkspathplatte, die parallel mit der Ebene des Hauptschnittes geschnitten ist, mit einer Wachsschicht (oder mit einer Mischung aus Olivenöl und Wachs) überzieht, so bildet die Schmelzungsgrenze keinen Kreis, sondern eine Ellipse. Behandelt man eine Kalkspathplatte, welche senkrecht zur optischen Axe geschliffen ist, eben so, so erscheint das um die erhitzte Stelle geschmolzene Wachs als ein kreisförmiger Wall. So fand sich, daß in den optisch einaxigen oder zweiaxigen Krystallen die Wärme in der Richtung der größeren Elasticitätsaxe geschwinde fortgeleitet wird als in der Richtung der kleineren Axe. Krystalle aus dem rhombischen und triklinödrischen Systeme, deren Axen sämtlich ungleichwerthig sind, boten ähnliche Erscheinungen. Dies führte auf den Begriff isothermischer Leitungsflächen der Krystalle, die sich entweder als Kugel, oder als Umdrehungs-ellipsoid oder als Ellipsoid mit drei ungleichen Axen erweisen, gemäß dem Verhältniß der krystallographischen Axen zu einander. Die Beziehung dieser Gesetze zur Lage der optischen Elasticitätsflächen in Krystallen führt zu dem Schlusse, daß diese Erscheinungen durch die Molecularanordnung im Innern der Krystalle bedingt sind. Wärme und Licht bieten hiernach hinsichtlich der Gesetze ihrer Fortpflanzung in krystallisirten Mitteln eine große Analogie dar, was auch noch daraus hervorgeht, daß die Fortpflanzung der Wärme, ähnlich wie die des Lichtes, in homogenen Mitteln durch äußere mechanische Kräfte (Compression) abgeändert wird ***).

*) Journ. de Phys. T. XXXIV. p. 68. Wren's Journ. d. Phil. Ib. I. S. 134.

**) Ann. de Chim. et Phys. Sér. III. T. XXI. p. 437. Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 191; Bd. LXXIV. S. 190; Bd. LXXV. S. 30 u. 482; Bd. LXXVI. S. 119. — Vergl. auch Bonnet in Compt. rend. XXVII. p. 49, u. Duhamel ibid. XXV. p. 870; XXVII. p. 129.

***) Vergl. Senarmont, Ann. de Chim. et Phys. Sér. III. T. XXIII. p. 237; Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 119.

In tropfbaren Flüssigkeiten geschieht die Verbreitung der Wärme hauptsächlich in der Weise, daß die erwärmten Theilchen in der kälteren Masse aufsteigen und ihre Wärme an diese allmählig abgeben. Die Verbreitung der Wärme in der ganzen Masse der Flüssigkeit wird also durch eine Strömung der letzteren vermittelt. Wenn man in die Flüssigkeit Körperchen bringt, die in ihr schweben, so z. B. Bernsteinpulver oder Sägespäne in Wasser, welches letztere sich in einem Glascolben befinden möge, so bemerkt man in dem Falle, daß der Glascolben von unten langsam erhitzt wird, eine Strömung, die in der Mitte aufwärts und an den Wänden des Gefäßes abwärts gerichtet ist. So kommen die kälteren Flüssigkeitstheilchen, indem sie herabsinken, an die Stelle der vorher erwärmten, aufsteigenden, und werden hier nun ebenfalls erwärmt, so daß also die ganze Flüssigkeitsmasse wiederholt dem Orte der größeren Erwärmung zugeführt wird. Dagegen ist die Wärmeleitungsfähigkeit der Flüssigkeiten in dem Sinne, wie bei festen Körpern, nur sehr gering. Senkt man die Kugel eines Thermometers in kaltes Wasser, auf welches man heißes Del gießt, so erkennt man, daß die Wärme sich nur sehr langsam von oben nach unten fortpflanzt.

Auch in Gasen verbreitet sich die Wärme, wie in tropfbaren Flüssigkeiten vorzugsweise durch Strömungen. Bekannte Beispiele sind das Aufsteigen der erhitzten Luft in der Nähe eines Ofens, das Aufsteigen der Staubtheilchen in einem eben gefehrten Zimmer, wenn die Sonne hineinscheint, u. dergl. m. Die Wärmeleitung der Gase, nach Art der festen Körper, ist sehr gering, so daß man sie zu den sehr schlechten Leitern rechnet. —

Die Abkühlung oder Temperaturerniedrigung, welche ein Körper erfährt, rührt einmal von seinem Wärmeausstrahlungsvermögen her, in Folge dessen er sich auch in einem ganz leeren Raume abkühlen würde, und dann von dem umgebenden Medium, welches ihn berührt und ihm Wärme entzieht.

Zunächst machte Newton *) die Gesetze des Erkalten zum Gegenstande einer theoretischen Untersuchung. Bezeichnet a den Temperaturüberschuß eines Körpers rücksichtlich der Umgebung, so wird sich dieser Ueberschuß durch die Abkühlung des Körpers, indem sich letzterer mit der Umgebung ins Temperaturgleichgewicht zu setzen sucht, vermindern. Hat sich nun der Temperaturüberschuß in der ersten Secunde um r vermindert, so beträgt derselbe nach Verlauf dieser Zeit noch $a \cdot \frac{a-r}{a}$. Nach der zweiten Secunde hat man $a \cdot \left(\frac{a-r}{a}\right)^2$, und nach x Secunden $a \cdot \left(\frac{a-r}{a}\right)^x$. Setzt man $\frac{a-r}{a} = \frac{1}{m}$, so hat man für die überschüssige Temperatur t nach x Secunden $t = a \cdot \left(\frac{1}{m}\right)^x$. Dieser Ausdruck bezeichnet das Newton'sche Gesetz des Erkalten, nach welchem für die in arithmetischer Reihe zunehmenden Zeiten die Temperaturunterschiede zwischen der erkaltenden Masse und der Umgebung in einer geometrischen Reihe abnehmen. Weiter wurde dieß von Fourier **) und Poisson ***) mathematisch untersucht.

*) Phil. Trans. 1701. Principia L. III. Prop. VIII. Coroll. 4. Opusc. T. II. p. 423 opusc. XXI.

**) Théorie analytique de la chaleur. Par. 1822. Chap. IX. p. 428 ff.

***) Théorie mathématique de la chaleur. Par. 1835. Chap. II. et III.

Auf dem Wege des Versuches wurde der Gegenstand zunächst behandelt von Amontons*), Martine**), Parnaart***), Kraft, Richmann****), Erleben*****), Lambert†), Leslie††), Dalton†††), de la Roche††††) u. Genauere und umfassendere Versuche wurden sodann von Dulong und Berthollet angestellt†††††). Zuerst wurde die Erkaltung im leeren Raume untersucht und hiernach die Erkaltung in einem umgebenden Gasmedium. Sie benutzten einen Ballon aus Kupfer, welcher etwa 30 Centimeter im Durchmesser hatte und an der Innenwand mit Ruß geschwärzt war. Derselbe hatte oben einen breiten, wohl abgeschliffenen Rand, auf welchen eine Glasplatte gesetzt wurde, durch deren Mitte, und zwar in einem Korbe ein großes Thermometer mit einer Kugel von drei bis sechs Centimeter so ging, daß die Kugel die Mitte des Ballons einnahm. Nachdem man das Thermometer bis zu einem bestimmten Grade erwärmt hatte, wurde es schnell in den Ballon gebracht, welcher sich in einem Wasser- oder Oelbade von constanter Temperatur befand. Hierauf wurde der Ballon mittelst einer Luftpumpe rasch entleert, und das Thermometer, in bestimmten gleichen Zwischenzeiten, etwa von Minute zu Minute, beobachtet. Die Zeitbestimmung geschah mittelst einer Secundenuhr und die Thermometerstände wurden mittelst eines Fernrohrs, das an einem genau getheilten vertikalen Maßstabe beweglich war, beobachtet. In Folge der Abkühlung der Thermometerscala, welche sehr bald die Temperatur der äußeren Luft annahm, mußten die Zeiten einer Correction unterworfen werden; sodann war noch eine Correction erforderlich wegen der ungleichmäßigen Ausdehnung des Quecksilbers, welche eine Reduction auf das Luftthermometer erforderte. Auch mußte noch der kleine Fehler corrigirt werden, welcher daraus hervorgeht, daß ein Theil des in der Thermometerrohre enthaltenen Quecksilbers bei fortschreitender Abkühlung in die Kugel zurücktritt. Endlich wurde auch noch der geringe Antheil Luft, welcher nach dem Auspumpen im Ballon zurückblieb, berücksichtigt.

Gewöhnlich wurde das Thermometer, bis zur Temperatur des siedenden Quecksilbers erhitzt, in den Ballon gebracht. War der Versuch in einem Gase anzustellen, so machte man den Ballon erst luftleer, ließ dann eine gewisse Quantität des betreffenden Gases eintreten, pumpte es hierauf wieder heraus, und leitete endlich dasselbe Gas wieder hinein. Bei dem Versuche im leeren Raume waren die Vorbereitungen so schnell beendigt, daß das Thermometer nur bis 300° herabging; dagegen konnte die Beobachtung, wenn ein Gas in den Ballon eingeführt wurde, erst bei 250° C. beginnen.

*) Mem. de l'Acad. de Par. 1702. p. 1 ff.

**) Dissertation sur la chaleur. Par. 1751. p. 69.

***). Dissert. inauguralis Traj. ad Rhen. 1772.

****). Nov. Comm. Petrop. T. I. p. 174.

*****). Nov. Comm. Soc. Gott. T. VIII. p. 74.

†) Pyrometrie §. 254 ff.

††) Inquiry into the nat. of Heat. Lond. 1804.

†††) Ein neues System des chemischen Theiles der Naturwissenschaften, Th. I. S. 114 ff.

††††) Sur le calorique rayonnant. In Journ. de Phys. T. LXXV. p. 201; Biot: Traité etc. T. IV. p. 628.

†††††) Ann. de Chim. et Phys. T. VII. p. 225. Ann. of Phil. T. XIII. p. 113. Journ. de Phys. T. LXXXVI. Schweigg. Journ. Bd. XXV. S. 304.

Die oben aufgestellte Newton'sche Formel $t = a \left(\frac{1}{m} \right)^x$ entsprach den Beobachtungen nicht und gewährte nur bei geringen Temperaturüberschüssen einige Annäherung. Dagegen genügte ihnen die Formel $t = a \left(\frac{1}{m} \right)^{\alpha x + \beta x^2}$. Die con-

stanten Größen m , α , β ließen sich aus drei Versuchen bestimmen. Drei Thermometer, deren Kugeln 2, 4 und 7 Centimeter im Durchmesser hatten, wurden mit einander verglichen, und dann nach der Formel die beobachteten Abkühlungen berechnet. Man fand, daß innerhalb der Grenzen der Versuche die ungleiche Größe der Thermometer keinen Einfluß auf den Gang der Abkühlung übten, insofern die Verhältnisse zwischen den gleichen Temperaturdifferenzen entsprechender Abkühlungsgeschwindigkeiten sich für das erste und zweite, und auch für das zweite und dritte Thermometer als constant herausstellten. Auch die Gestalt und materielle Beschaffenheit des sich abkühlenden Körpers änderte das Gesetz der Abkühlungsgeschwindigkeit nicht, wohl aber die Beschaffenheit der Oberfläche. Die Formel gibt für jeden Werth von x , welches die Zeit vorstellt, den entsprechenden Temperaturwerth t . Differenzirt man diese Gleichung, so hat man $v = - \frac{dt}{dx} = t(\alpha + 2\beta x) \log m$. Dieser Werth von v drückt die Anzahl Grade aus, um welche die Temperatur des Körpers gesunken sein würde, falls die Abkühlungsgeschwindigkeit während der Zeiteinheit denselben Werth beibehalten hätte, welchen sie beim Beginn derselben hatte. —

Bezeichnet Θ die Temperatur der Hülle, welche den luftleeren Raum einschließt, und ist $t + \Theta$ die Temperatur des erkaltenden Körpers, so würde, falls F die unbekannte Function der absoluten Temperatur bezeichnet, welche das Gesetz der Strahlung darstellt, die Abkühlungsgeschwindigkeit $V = F(t + \Theta) - F(\Theta)$ sein, unter der Voraussetzung nämlich, daß die Abkühlung des Körpers nur von seinem Temperaturüberschuß über die Hülle abhängig wäre.

Wenn nun die Function F nur ihrer veränderlichen Größe direct proportional wäre, so würde V dem Temperaturüberschusse t proportional sein, gemäß dem Newton'schen Gesetze. Allein diese Proportionalität besteht nicht, sondern die Function hängt auch von der absoluten Temperatur der Hülle, also von Θ ab. Als Dulong und Petit das den kupfernen Ballon umgebende Wasser allmählig auf Temperaturen brachten, die um 20° verschieden waren (0° , 20° , 40° , 60° , 80°), fand sich, daß die demselben Temperaturüberschusse t entsprechenden Reihen der Abkühlungsgeschwindigkeiten bei verschiedenen Temperaturen der Umgebung sehr verschieden waren. Es ergab sich das Gesetz, daß die Geschwindigkeit der Abkühlung eines Thermometers im Vacuum bei einem constanten Temperaturüberschusse in geometrischer Progression wächst, wenn die Temperatur der Umgebung in arithmetischer Progression steigt, und der Exponent jener Progression bleibt constant, von welcher Größe auch der betreffende Temperaturüberschuß sein möge.

Hiernach gewinnt die Function $F(t + \Theta) - F(\Theta)$ die Form $\varphi(t) \cdot a^\Theta$, wo a eine constante Größe und $\varphi(t)$ nur eine Function von t ist.

$$\text{Es ist aber } \frac{F(1 + \Theta) - F(\Theta)}{a^\Theta} = \varphi(1) = \frac{F'(\Theta)}{a^\Theta} \cdot 1 + \frac{F''(\Theta)}{a^\Theta} \cdot \frac{1^2}{2} + \dots$$

Das Verhältniß $\frac{F'(\Theta)}{a^\Theta}$ ist constant, $= m \log . a$, also $F'(\Theta) = a^\Theta m \log a$, und $F(\Theta) = m a^\Theta + C$, und $F(\Theta + 1) = m a^{\Theta+1} + C$, daher $v = m a^\Theta (a^1 - 1)$.

Wenn demnach ein Körper im Vacuum erkaltet und die Hülle ihre Temperatur Θ nicht ändert, so wächst die Abkühlungsgeschwindigkeit wie die Glieder einer geometrischen Reihe, sämmtlich vermindert um ein und dieselbe constante Zahl, falls der Temperaturüberschuß nach den Gliedern einer arithmetischen Reihe zunimmt.

Bei einem Thermometer von Glas ergab sich $a = 1,0077$; und dieser Werth blieb unverändert, als man eine übersilberte Thermometerkugel anwandte. Der Werth von m verändert sich mit der Beschaffenheit der strahlenden Oberfläche.

Setzt man $m a^\Theta = M$, so hat man $v = M(a^1 - 1)$.

Das Abkühlungsgesetz ist hiernach für alle Körper im leeren Raume dasselbe, und das Ausstrahlungsvermögen der verschiedenen Körper behält in allen Temperaturen das nämliche Verhältniß bei, während die Geschwindigkeit des Erkaltens von dem ungleichen Strahlungsvermögen der Oberfläche abhängt.

Befindet sich der Körper in einem Vacuum, das von einer wärmelosen, also nicht strahlenden Hülle umschlossen ist, so folgt aus der Formel, daß die Abkühlungsgeschwindigkeiten in einer geometrischen Progression abnehmen, wenn die Temperaturen in einer geometrischen Progression fallen.

Der Wärmeverlust, welchen ein Körper durch die Berührung mit einem gasförmigen Mittel erleidet, ließ sich dadurch bestimmen, daß man das betreffende Gas getrocknet in den erwähnten Ballon leitete und von der gesammten Erkaltung die durch Strahlung bewirkte, welche durch Versuche im Vacuum festgestellt war, in Abzug brachte. Dulong und Petit fanden, daß die Abkühlungsgeschwindigkeit, welche aus der Berührung mit dem gasförmigen Medium resultirt, bei demselben Temperaturüberschusse zwar von der Dichte und Temperatur des Gases abhängt, aber so, daß diese Geschwindigkeit constant bleibt, wenn sich Dichte und Temperatur dergestalt ändern, daß die Spannkraft oder der Druck des Gases unverändert bleibt. Die Abkühlungsgeschwindigkeit ist also unter den bezeichneten Verhältnissen vom Drucke des Gases abhängig. Der durch die Berührung mit dem Gase bewirkte Wärmeverlust erschien unabhängig von der Beschaffenheit der Oberfläche des sich abkühlenden Körpers. Das Gesetz der Abkühlungsgeschwindigkeit eines Körpers in Folge des ihm berührenden Gases zeigte sich für gleiche Temperaturunterschiede unverändert, wie verschieden auch die Dichtigkeit des Gases sein mochte. Nimmt aber die Elasticität des Gases in einer geometrischen Reihe ab, so nimmt sein Abkühlungsvermögen ebenfalls in einer geometrischen Reihe ab, und zwar ist der Exponent des Verhältnisses bei jener Reihe $= 2$, bei dieser für Luft $= 1,366$, für Wasserstoff $= 1,301$, für Kohlensäure $= 1,431$ und für ölbildendes Gas $= 1,415$.

Auch ergab sich aus den Versuchen, daß die von der Berührung mit einem Gase herrührenden Abkühlungsgeschwindigkeiten den zu der Potenz von dem Exponenten 1,233 erhobenen Temperaturüberschüssen des Körpers proportional sind.

Die Geschwindigkeit v' des Erkaltens durch den bloßen Einfluß des um-

gebenden Mediums ist hiernach insbesondere bedingt durch den Druck p der Gasart und den Temperaturunterschied t des erkaltenden Körpers und der Umgebung. Man hat $v' = n \cdot p^c \cdot t^b$, wo b für alle Gasarten und alle Körper $= 1,233$, c für alle Körper gleich, jedoch für die einzelnen Gase verschieden (für Luft $= 0,45$, für Wasserstoff $0,38$, für Kohlensäure $0,517$, für ölbildendes Gas $0,501$), und n nach der Natur der Gase und den Dimensionen der Körper veränderlich ist.

Die gesammte, durch Strahlung und zugleich durch Verührung mit einem gasförmigen Medium bewirkte Erkaltung ist also $V = v + v' = ma^a (a^t - 1) + n \cdot p^c t^b$.

Die Resultate aus Dulong's und Petit's Versuchen sind also folgende: 1) In einem Vacuum, dessen Hülle aller Wärme beraubt und daher auch keine Wärme ausstrahlt, würde die Erkaltungsgeschwindigkeit eines Körpers in einer geometrischen Reihe abnehmen, wenn die Temperaturen in einer arithmetischen Reihe fielen. 2) Wenn die Temperatur der Hülle constant bleibt, werden die Erkaltungsgeschwindigkeiten für die in arithmetischen Progressionen abnehmenden Temperaturen sich vermindern, wie die Glieder einer geometrischen Progression weniger einer beständigen Größe. Der Exponent dieser Reihe ist für alle Körper $= 1,0077$. 3) Die Geschwindigkeit des Erkaltens im Vacuum für gleiche Temperaturunterschiede wächst in einer geometrischen Reihe, wenn die Temperatur des Vacuum in einer arithmetischen Reihe wächst. Der Exponent dieses Verhältnisses ist ebenfalls für alle Körper $= 1,0077$. 4) Die Geschwindigkeit der bloß durch Verührung der Luft erzeugten Erkaltung ist von der Oberfläche der Körper unabhängig. 5) Die Geschwindigkeit des Abkühlens durch die bloße Verührung der Luft bildet eine geometrische Reihe, falls die Temperaturunterschiede gleichfalls eine solche Reihe bilden. 6) Die abkühlende Kraft eines Gases verändert sich mit der Temperatur in der Weise, daß sie durch die Spannkraft oder den Druck des Gases bedingt wird.

Versuche von Dalton *) und H. Davy **) stimmen im Wesentlichen mit den vorher besprochenen Resultaten überein. Abkühlungsversuche mit größeren Massen wurden von G. Bishof ***) angestellt. Die Abkühlungen zweier Basaltkugeln, von denen die eine 27,27 rhein. Zoll, die andere 9,39 Zoll im Durchmesser hatte, verhielten sich, in gleichen Zeiten und von gleichen Temperaturüberschüssen angerechnet, genau umgekehrt wie die Durchmesser. Auch Dulong und Petit fanden bei Thermometerkugeln von verschiedenen Durchmessern die Erkaltungsgeschwindigkeiten im umgekehrten Verhältniß der Durchmesser.

In Rücksicht auf den Einfluß des Gasdruckes fanden neuerdings de la Prevostaye und Desains Folgendes ****). Unter großem Drucke erkaltet eine Thermometerkugel etwas langsamer in der kleineren als in der größeren Hülle, während unter geringem Druck die Abkühlung bedeutend schneller von statten geht wie in der kleineren Hülle. Ist die Hülle mit atmosphärischer Luft gefüllt, so gelangt man bei Verminderung des Druckes an eine Periode, während welcher eine fernere

*) Neues System u. Th. I. S. 114.

**) Schweigg. Journ. XX. S. 183.

***.) Die Wärmelehre des Innern unsers Erdkörpers u. Leipzig 1837. S. 443 ff.

****.) Ann. de Chim. et Phys. Ser. III. T. XVI. p. 337, 389 ff. ibid. T. XXII. p. 363.

Druckabnahme keinen Einfluß mehr auf die Veränderung der Abkühlungsgeschwindigkeit hat. Diese Periode liegt bei weiteren Hüllen viel tiefer und ist von viel geringerem Umfange als bei Hüllen von kleineren Dimensionen. Vermindert man in einer Hülle, die mit Kohlensäure oder Stickstoffoxydul gefüllt ist, den Druck, so gelangt man zu einer Grenze, von der ab die Druckabnahme eine Vermehrung der Abkühlungsgeschwindigkeit zur Folge hat.

In Bezug auf diese so eben erwähnten und die vorher betrachteten Dulong-Vertré'schen Versuche hat Wilhelm^{*)} das Gesetz der Abkühlung oder Wärmeabgabe weiter zu begründen versucht. Die von Dulong gemachte Annahme, daß die Strahlung im luftgefüllten Raume ebenso erfolge wie im luftleeren, und die ganze Mehrabgabe im ersten Falle also dem Leitungsvermögen der Luft zuzuschreiben, scheint ihm nicht allein durch nichts erwiesen, sondern auch im Widerspruch mit anderen Sätzen der Wissenschaft zu stehen; denn nach ihr müßte der Ausstrahlungs- oder Emissions-Coefficient, welcher einer bestimmten Oberfläche zukommt, unabhängig sein von der Natur und Dichte des zweiten Mediums, was kaum anzunehmen wäre. Er weist darauf hin, daß man auf die theoretischen Untersuchungen über Wärmestrahlung einzig und allein die Formeln anzuwenden habe, welche Fresnel und Cauchy für die optischen Phänomene entwickelt, wie dies denn auch schon zum Theil mit Erfolg von de la Brevoisaye und Desains geschehen sei. Nun hat man in den Fällen der Wärme-Absorption und Emission den absorbirten und emittirten Strahlenantheil als das Complement des reflectirten zu betrachten. Im Falle der Absorption gelangt der Strahl auf seinem Wege durch das dünnere Medium an die Grenzfläche des zweiten (absorbirenden) und wird hier theils regelmäßig oder diffus reflectirt, während ein zweiter complementärer Antheil eindringt und absorbirt wird. Im Fall der Emission gelangt der Strahl auf seinem Wege durch das erstere dichtere Medium an die Grenzfläche, wird hier theils nach innen zurückgeworfen, während ein zweiter complementärer Antheil als emittirter Strahl austritt. In beiden Fällen findet man die Intensität des absorbirten und emittirten Strahlenantheils, wenn man die Intensität des reflectirten Antheils von der totalen Intensität abzieht. Da nun de la Brevoisaye^{**)} nachgewiesen hat, daß man die Intensität reflectirter Wärmestrahlen berechnen kann nach den Fresnel'schen Intensitätsformeln, so folgt daraus, daß dieselbe abhängig ist von dem Brechungsverhältniß beider Medien zu einander, und dasselbe ergibt sich dann auch mit gleicher Nothwendigkeit in Rücksicht des absorbirten und emittirten Antheils. Ist aber der Emissions- und Absorptionscoefficient abhängig vom Brechungsverhältniß beider Medien, so erscheint die Annahme nicht wohl zulässig, daß die Strahlung in einem gasgefüllten Raume ganz ebenso von Statten gehe wie im luftleeren. — Für die Abkühlungsgeschwindigkeit v gibt nun Wilhelm^{*)} nachstehende Formel.

Die Wärmeabgabe durch Strahlung, oder die Größe des Antheils der Wärmeeinheit, welche in der Zeiteinheit von der Wärmequelle zur Hülle übertritt, ist abhängig von dem Emissionsvermögen der betreffenden Oberfläche und von dem Absorptionsvermögen der Hülle. Bezeichnet man durch v den Wärmeverlust in der Zeiteinheit durch Strahlung, die Temperatur der Wärmequelle durch t , die Temperatur

^{*)} Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 119.

^{**)} Ann. de Chim. et Phys. Ser. III. T. XXVII. p. 116.

des umgebenden Mediums und der Hülle durch ϑ , den Druck, unter welchem das Gas steht, durch p ; so ist $v = (1 - \vartheta) F(p, t, \vartheta)$, wobei angenommen ist, daß das Emissionsvermögen eines Körpers mit der Temperatur der Wärmestrahlen, welche er ausgibt, zunimmt, wie auch das Absorptionsvermögen mit der Temperatur der Wärmequelle wächst, und daß das Absorptions- und Emissionsvermögen abhängig sei von der Beschaffenheit und dem Drucke des umgebenden Mediums.

Ein fernerer Antheil der Wärmeeinheit wird übergeführt in Folge der Bewegung des Gases, der proportional ist der Größe dieser Bewegung, welche letztere abhängt von der specifischen Beweglichkeit des Gases und von dem mit dem Drucke zunehmenden Wärme-Ausdehnungscoefficienten desselben, dies insofern als nur vermöge der Ausdehnung oder Spannungsveränderung die Wärme als bewegende Kraft auftritt. Die specifische Beweglichkeit eines Gases wird durch sein specifisches Gewicht d bedingt sein. Bezeichnet nun v' die in der Zeiteinheit durch Gasbewegung übergeführte Wärmemenge, so wird sein $v' = (1 - \vartheta) f(\vartheta, p, d)$.

Within der totale Wärmeverlust in der Zeiteinheit: $V = v + v' = (1 - \vartheta) [F(t, \vartheta, p) + f(\vartheta, p, d)]$.

Wilhelm y benutzt nun die Dulong'schen Versuche, um über die Beschaffenheit dieser Functionen Auskunft zu geben. In Rücksicht auf die Versuche im luftleeren Raume ergibt sich, daß die Werthe von $\frac{v}{1 - \vartheta}$ bei gleichbleibendem $(1 - \vartheta)$, wenn die ϑ nach einer arithmetischen Reihe wachsen, in einer geometrischen Reihe zunehmen, ebenso auch bei gleichbleibendem ϑ , wenn die t nach einer arithmetischen Reihe wachsen. Diese letztere Reihe ist von Dulong nicht bemerkt worden, wohl aber die erstere. Hiernach ist nun im luftleeren Raume, wo $p = 0$ ist, zu setzen: $v = F(t, \vartheta) = ma^t \beta^\vartheta (1 - \vartheta)$.

Um die gegenseitige Strahlung des sich abkühlenden Körpers und der Hülle hervorzuheben, läßt sich auch schreiben: $v = w - w' = \mu a^t x \beta^\vartheta (1 - x \beta^\vartheta \mu a^t \vartheta)$, wo μa^t das mit der Temperatur zunehmende Emissions- oder Absorptionsvermögen des Körpers und $x \beta^\vartheta$ dasselbe für die Hülle ist. Hiernach bedeutet w die Wärmemenge, welche vom Körper zur Hülle und w' diejenige, welche von der Hülle zum Körper geht. Im Falle, wo die Innenfläche der Hülle mit Kienruß überzogen ist, muß x nahe gleich 1 sein.

Sodann wurde eine Formel entwickelt für den Fall, wo der Zwischenraum zwischen Körper (Wärmequelle) und Hülle mit Luft oder irgend einem Gase unter dem Drucke p erfüllt ist. Mit Rücksicht auf die Dulong'schen Versuche ergab sich für den Emissionscoefficienten M (einer Glasoberfläche) der Ausdruck

$$A + a \left\{ \frac{\left(\frac{p}{45}\right)^\varepsilon - 1}{2^\varepsilon - 1} \right\} *).$$

*) Zunächst war $\frac{v}{1 - \vartheta} = \frac{v + v'}{1 - \vartheta} = \Phi(p) a^t \beta^\vartheta + f(p, \vartheta)$. Nun konnte Wilhelm y

aus den Dulong'schen Versuchen mit veränderlichem t , constantem p und ϑ , da a und β aus den Beobachtungen im luftleeren Raume bekannt waren, $\Phi(p_1)$, $\Phi(p_2)$ u. s. w. bestimmen, und darnach auch den Emissionscoefficienten M , einer Glasoberfläche in Luft und

Für den Druck $p = 45^{\text{mm}}$ wird $M = A$, so daß sich A aus den Beobachtungen Dulong's bei 45^{mm} Druck ergibt.

Für $p = 0$ wird $M = A - \frac{a}{2^\epsilon - 1} = m$ bei Versuchen im luftleeren

Raume. Die Formel läßt sich hiernach auch schreiben $M = m - a \frac{\left(\frac{p}{45}\right)^\epsilon}{2^\epsilon - 1}$.

Nach Graham's Versuchen über Gasdifffusion ist die Beweglichkeit eines Gases umgekehrt proportional der Quadratwurzel aus seinem specifischen Gewichte d , und die Abkühlungsgeschwindigkeit v' des Körpers ist in gleicher Weise vom specifischen Gewicht abhängig. Aus Dulong's Versuchen findet sich nämlich

$$v' = \frac{c}{\sqrt{d}} \varphi(\vartheta, p).$$

Die Art und Weise der Abhängigkeit der $\varphi(\vartheta, p)$ von ϑ und p ließ sich nur aus den Beobachtungen ableiten, da man theoretisch nur weiß, daß v' , insofern es von dem Ausdehnungscoefficienten des Gases abhängt, mit p wachsen, dagegen mit zunehmendem ϑ abnehmen muß. Es ergab sich $v' = \frac{c}{\sqrt{d}} (1 - k\vartheta) \left(\frac{p}{45}\right)^\epsilon$, wo k und ϵ für verschiedene Gase verschiedene Werthe erhalten.

Es ist wahrscheinlich, daß der Werth von c in Folge der veränderlichen Wärmecapacität der Körper mit t steigt; doch läßt sich derselbe für das kleine Temperaturintervall, auf welches sich die Versuche Dulong's beschränken, constant setzen. Für den totalen Wärmeverlust in der Zeiteinheit hat man nun

$$V = v + v' = (1 - \vartheta) \left\{ \left(m + a \frac{\left(\frac{p}{45}\right)^\epsilon}{2^\epsilon - 1} \right) \alpha^t \beta^\vartheta + \frac{c}{\sqrt{d}} (1 - k\vartheta) \left(\frac{p}{45}\right)^\epsilon \right\}.$$

Diese Formel, in welcher die Wärmeverluste durch Strahlung und Gasbewegung gesondert erscheinen, kann man auch schreiben:

$$V = (1 - \vartheta) \left\{ m \alpha^t \beta^\vartheta + \left(\frac{p}{45}\right)^\epsilon \left(\frac{a \alpha^t \beta^\vartheta}{2^\epsilon - 1} + \frac{c}{\sqrt{d}} (1 - k\vartheta) \right) \right\}.$$

Gasen verschiedener Spannung. Es ergab sich folgendes Gesetz. Ist der Coefficient beim Druck $P = A$, beim Druck $2P = A + a$, so wird er beim Druck $2^2P = A + a + 2^\epsilon a$, beim Druck $2^3P = A + a + 2^\epsilon a + 2^{2\epsilon} a$, beim Druck $2^4P = A + a + 2^\epsilon a + 2^{2\epsilon} a + 2^{3\epsilon} a$. Soweit gehen Dulong's Versuche, nämlich von $p = 45^{\text{mm}}$ bis $p = 720^{\text{mm}}$ Druck. Allgemeiner ist beim Druck $2^n P$: $M = A + a + 2^\epsilon a + 2^{2\epsilon} a + \dots + 2^{(n-1)\epsilon} a$, oder $M = A + a \left(\frac{2^{n \cdot \epsilon} - 1}{2^\epsilon - 1} \right)$.

Wird nun $P = 45$ gesetzt, so hat man für den Druck $p = 2^n P = 2^n 45$ den Emissions-

$$\text{coefficienten } M = A + a \left\{ \frac{\left(\frac{p}{45}\right)^\epsilon - 1}{2^\epsilon - 1} \right\}.$$

Für $p = 0$, d. h. für die Wärmeabgabe im luftleeren Raume geht dieselbe über in: $V = (1 - \beta) m a' \beta^2$, wo $a = 1,0044$, $\beta = 1,00318$, m für Glas $= 0,01518$, m für Silber $= 0,002665$ ist.

Der Exponent ε der Wilhelmy'schen Formel ist der mit c bezeichnete der Dulong'schen (S. 682). Daher ist nach den Dulong'schen Versuchen für atmosphärische Luft $\varepsilon = 0,45$, für Wasserstoff $\varepsilon = 0,38$, für ölbildendes Gas $\varepsilon = 0,501$, für Kohlensäure $\varepsilon = 0,517$. Der Emissionscoefficient für Glas ist bei 45^{mm} Druck in atmosphärischer Luft $A = 0,01666$, in Wasserstoff $A = 0,02142$, in Kohlensäure $A = 0,01636$, in ölbildendem Gase $= 0,01715$; daher $m = A - \frac{a}{2\varepsilon - 1} = 0,01518$. Für atmosphärische Luft $a = 0,000532$, für Wasserstoff $a = 0,001878$, für Kohlensäure $a = 0,000550$, für ölbildendes Gas $a = 0,00080$. — Für Kohlensäure und ölbildendes Gas sind die a unter der Voraussetzung $\varepsilon = 0,5$ bestimmt, so daß sich aus der Formel $m = A - \frac{a}{2 \cdot 0,5 - 1}$ für Kohlensäure $m = 0,01503$ und für ölbildendes Gas $m = 0,01524$ anstatt 0,01518 ergibt. Diese geringen Differenzen hätten sich durch Abänderung des Exponenten beseitigen lassen.

Wilhelmy faßt nun das Ergebniß der Dulong'schen Versuche nach seiner Darstellungsweise folgendermaßen kurz zusammen. Der Wärmeverlust, welchen ein erhitzter Körper in einem gasförmigen Medium erleidet, ist ein doppelter, einmal durch Strahlung, sodann in Folge der Bewegung des Mediums. Der Verlust durch Strahlung ist proportional der Temperaturdifferenz $(1 - \beta)$ und dem Emissionscoefficienten M ; letzterer ist aber nicht, wie Newton annahm, constant, sondern eine Function der Temperatur t und des Druckes p , und zwar ist M mit t durch das Gesetz einer logarithmischen, mit p durch das Gesetz einer parabolischen Curve verbunden. (Auf die von der Hülle zurückstrahlende Wärme ist hierbei der Vereinfachung des Ausdrucks wegen keine Rücksicht genommen.) Die Größe ε , von welcher die Ordnung der Parabel abhängt, ist für verschiedene Gase verschieden und zwar folgt sie, wie es scheint, dem Grade ihrer Condensirbarkeit, wenigstens sind die Gase in der Reihenfolge der zugehörigen Werthe von ε durch Wasser absorbirbar. Hiernach gehört einem Gase ein um so kleineres ε an, je näher dasselbe, wie z. B. der Wasserstoff, dem idealen Gaszustande ist. Hierdurch wird wahrscheinlich, daß ε auch für dasselbe Gas nicht constant bleiben, sondern mit abnehmendem Drucke allmählig kleiner werden wird.

Schließlich sucht Wilhelmy *) die aufgestellte Formel auch noch auf die Versuche von de la Brevoisaye und Desains anzuwenden; und es ergab sich für diese meist eine gute Annäherung. Auch fand sich hier bestätigt, daß ε mit p und zwar im Allgemeinen mit abnehmendem p abnehmend veränderlich ist. Jedoch ließ sich das Gesetz, nach welchem ε und p mit einander verbunden sind, aus den Versuchen nicht ableiten; nur so viel ergab sich, daß die Form dieses Gesetzes von den Dimensionen der Hülle abhängig ist, und zwar scheint ε um so schneller mit p abzunehmen, je kleiner die Hülle ist. Aus dieser Abhängigkeit des ε von p

*) A. a. D. S. 128.

lassen sich verschiedene Eigenthümlichkeiten ableiten, welche de la Prevostaze und Desains bei dem Vorgange der Abkühlung in Hüllen wahrgenommen haben.

Es ist Thatsache, daß verschiedene Körper, um von einem Wärmegrade bis zu einem anderen erwärmt zu werden, nicht dieselbe Wärmemenge brauchen. Bringt man z. B. ein Gefäß mit Wasser und ein anderes ihm gleiches mit demselben Gewicht Quecksilber gefüllt, neben einander auf den geheizten Ofen, so erhält, falls beide Gefäße sich unter sonst ganz gleichen Umständen befinden, jedes gleich viel Wärme mitgetheilt; dennoch wird das Quecksilber eher bis zu einem gewissen Grade erwärmt als das Wasser. Auch dieselben Stoffe, aber anders bearbeitet, wie z. B. zwei verschieden gehärtete oder geschmiedete Eisenmassen, werden nicht genau gleich viel Wärme gebrauchen, um von einer gewissen Temperatur zu einer gewissen anderen zu gelangen. Insofern schreibt man ihnen nun eine verschiedene *Wärmecapacität* zu.

Mischt man gleiche Massen einer und derselben Flüssigkeit (Wasser oder Quecksilber), so ist die Temperatur der Mischung gleich dem arithmetischen Mittel aus den Temperaturen der beiden Massen, also $= \frac{t + t'}{2}$, wenn die Temperatur der einen t , die der anderen t' war. Sind beide Massen verschieden, m und m' , so hat man nach der Richmann'schen Regel *) für die Temperatur der Mischung $\frac{mt + m't'}{m + m'}$, eine Formel, die für $m = m'$ in die vorige übergeht. Diese Regel gilt aber nicht mehr für verschiedenartige Flüssigkeiten. Mischt man 1 Pfund Wasser von 18° mit 1 Pfund Quecksilber von 120° , so beträgt die Temperatur der Mischung nahe 21° . Hiernach hat das Quecksilber $120 - 21 = 99^\circ$ an das Wasser abgegeben, wodurch die Temperatur des letzteren doch nur um $21 - 18 = 3^\circ$ erhöht wurde. Das Wasser hat also 33mal mehr Wärme nöthig als das Quecksilber, um mit diesem, bei gleicher Masse, dieselbe Temperatur zu gewinnen, oder, wie man auch sagen kann, Wasser enthält bei gleicher Masse 33mal so viel Wärme als Quecksilber von gleicher Temperatur. Und demgemäß sagt man auch, das Wasser habe eine 33mal größere *Wärmecapacität* als das Quecksilber, oder, was dasselbe ist, die *Wärmecapacität* des Quecksilbers sei 33mal kleiner als die des Wassers.

Der Begriff der Wärmemenge resultirt mit Bestimmtheit aus den Wirkungen der Wärme. Unter *Wärmeeinheit* versteht man aber diejenige Wärmemenge, welche 1 Pfund Wasser von 0° braucht, damit seine Temperatur dadurch um 1° erhöht werde, oder unter Umständen auch eine Wärmemenge, welche 1 Kilogramm (oder auch nur 1 Gramm) von 0° auf 1° zu erwärmen vermag. Was man *specifische Wärme* nennt, ist nun nichts anderes als die Wärmemenge, welche die Temperatur der Massen- oder Gewichtseinheit eines Stoffes um 1° erhöht, und sie ist in demselben Verhältniß größer oder geringer als seine *Wärmecapacität*. Die *specifische Wärme* ist der *Wärmecapacität* pro-

*) Nov. Comment. Petrop. T. I. p. 152, 168 ff.

portional, und beide Ausdrücke werden meist als gleichbedeutend einer für den anderen gebraucht.

Die ersten, freilich sehr unbestimmten Wahrnehmungen bezüglich der Wärmecapacität scheint Boerhave *) gemacht zu haben. Zu einer festeren Begriffsbestimmung dieser Erscheinung kam erst Black **) und nach ihm Irvine ***). Auch Wilke ****) beschäftigte sich mit diesem Gegenstande, und dann namentlich auch Crawford *****), durch welchen die Untersuchungen der ersteren bekannter wurden.

Wenn nun c die Wärmemenge ist, welche die Temperatur der Gewichtseinheit eines Körpers um 1° erhöht, d. h. also seine spezifische Wärme, so sind, wenn man m Pfund dieses Körpers bezüglich der Temperatur um 1° erhöhen will, mc Wärmeeinheiten erforderlich, und soll derselbe Körper um 1° erwärmt werden, so hat man dazu mc Wärmeeinheiten nöthig. Und dieser Ausdruck gibt die Wärmemenge an, welche der Körper aufgenommen hat, wenn seine Temperatur von 0° auf 1° erhöht worden ist. Erhöht man die Temperatur eines Körpers von t auf t' Grad, so beträgt die aufgenommene Wärmemenge, falls m die Masse des Körpers und c wieder seine spezifische Wärme ist, $mc(t' - t)$; und umgekehrt, wenn die Temperatur des Körpers von t' auf t Grad sinkt, so ist die verlorene Wärmemenge $mc(t' - t)$.

Die spezifischen Wärmen der verschiedenen Körper lassen sich in Zahlen ausdrücken, welche auf die spezifische Wärme des Wassers ($= 1$) als Einheit bezogen sind. Zur experimentellen Ermittlung der spezifischen Wärme hat man aber drei Methoden, nämlich die Mischungsmethode, die Methode des Eis schmelzens und die Methode des Erkaltens.

Die Methode der Mischung wurde zuerst von den obengenannten Physikern angewandt und sie ist auch in der neueren Zeit vorzugsweise benutzt worden. Ein Beispiel zu dieser Methode haben wir schon oben angeführt, als wir uns Quecksilber und Wasser von verschiedener Temperatur mit einander vermengt dachten. Ein Körper, dessen Masse (oder Gewicht) m und spezifische Wärme c sei, werde auf die Temperatur t gebracht, dann ist seine Wärmemenge mc . Man bringe nun diesen Körper bei der Temperatur t in eine Flüssigkeit von der Masse m' , Temperatur t' und spezifischen Wärme c' . Die Wärmemenge der Flüssigkeit ist $m'e't'$. Die Temperatur der Mischung, deren Masse $= m + m'$, sei T ; dann ist die Wärmemenge dieser Masse $(mc + m'e')T$. Daher besteht, falls kein Wärmeverlust stattfindet, die Gleichung $(mc + m'e')T = mc + m'e't'$, und hieraus ergibt sich, wenn die spezifische Wärme c gesucht wird, während die übrigen Größen bekannt

$$\text{find, } c = \frac{c'm'(t' - T)}{m(T - t)} \quad \text{oder} \quad \frac{c}{c'} = \frac{m'(t' - T)}{m(T - t)}.$$

Nach der Mischungsmethode verfährt man nun so, daß man den Körper,

*) Elementa chemiae T. I. p. 296.

**) Lectures on nat. phil. T. I. p. 79, 804.

***) Chemical Essays.

****) Neue schwedische Abhandl. Leipzig. 1784. T. II. p. 48. Journ. de Phys. T. XXVI.

*****) Experiments and observations on animal heat and the inflammation of combustible bodies, being an attempt to resolve these phaenomena into a general law of nature. Lond. 1779. sec. ed. 1788.

dessen specifische Wärme c ermittelt werden soll, wiegt und dann in einem (durch Wasserdämpfe) gleichmäßig erhitzten Raume bis zu einer bestimmten Temperatur erwärmt und hiernach in eine bestimmte Menge Wasser (oder Del) von bekannter Temperatur bringt. Nun bestimmt man die Temperatur des Wassers und ermittelt nach der obigen Formel, in welcher c' die specifische Wärme der Flüssigkeit ist, die zu suchende specifische Wärme c des Körpers.

Größerer Genauigkeit wegen muß man auch noch die Wärmemenge berücksichtigen, welche das Gefäß, worin die Flüssigkeit (Wasser) sich befindet, aufnimmt, d. h. man muß die specifische Wärme c'' der Substanz des Gefäßes (wozu man gewöhnlich einen dünnwandigen Cylinder aus polirtem Silber- oder Messingblech nimmt) ermitteln. Man bringt zu diesem Behufe eine abgewogene Menge m'' dieser Substanz von bestimmter Temperatur $= \tau$ in die in dem Gefäße befindliche Flüssigkeitsmasse $= m'$ von der Temperatur δ der Umgebung. Ist nun Θ die Endtemperatur der Mischung, so hat das Wasser eine Wärmemenge $= m'(\Theta - \delta)$ aufgenommen, wobei die specifische Wärme des Wassers $= 1$ gesetzt ist. Das Gefäß, dessen Masse $= M$ sei, hat eine Wärmemenge $= Mc''(\Theta - \delta)$ aufgenommen, während die eingebrachte Masse m'' von der Substanz des Gefäßes die Wärmemenge $m''c''(\tau - \Theta)$ verloren hat. Nun besteht die Gleichung $m''c''(\tau - \Theta) = m'(\Theta - \delta) + Mc''(\Theta - \delta)$, woraus sich die specifische Wärme c'' der Gefäßsubstanz ableiten läßt.

Man kann jetzt, nachdem die specifische Wärme der Gefäßsubstanz bekannt ist, sich anstatt des Gefäßes eine entsprechende Wassermenge denken, welche dieselbe Wärmeabsorption wie das Gefäß ausübt, oder man kann, wie man auch zu sagen pflegt, das Gefäß auf Wasser reduciren. Man braucht nämlich nur zu der Wassermasse, welche im Gefäße vorhanden ist, eine Wassermasse $\mu = Mc''$ zu addiren. Bringt man nun eine andere Substanz von der Masse m , deren specifische Wärme c zu ermitteln ist, bei der Temperatur t in eine Wassermasse m' von der Temperatur t' , so hat man, wenn man noch die Endtemperatur der Mischung durch Θ bezeichnet, die Gleichung $(m' + \mu)(\Theta - t') = mc(t - \Theta)$.

Ein Wärmeverlust wird noch herbeigeführt durch die Wärmeausstrahlung des Gefäßes. Dieser Verlust läßt sich dadurch ausgleichen, daß man vorläufig die Erhöhung der Temperatur ermittelt, welche durch das Eintauchen des erhitzten Körpers, dessen specifische Wärme ermittelt werden soll, im Wasser bewirkt wird, und dann vor Anstellung des eigentlichen Versuches das Gefäß (mit dem Wasser) um die Hälfte dieser Temperatur unter die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet. Wird nun der eigentliche Versuch angestellt, so erwärmt sich das Wasser allmählig auf jene oben bezeichnete Temperatur, und man kann annehmen, daß der Wärmeverlust, welcher während dieses Versuches durch Wärmeausstrahlung stattfindet, ausgeglichen wird durch die vorher in Folge der Temperaturerniedrigung bewirkte Wärmeaufnahme von außen her. — Neumann *) hat die Fourier'schen Bestimmungen der Ausstrahlungsgesetze zur Ermittlung einer Correction des eben besprochenen Fehlers benutzt.

Das zu diesen Versuchen benutzte Thermometer muß wohl construirt sein und

*) Commentatio de emendanda formula perquam calores corporum specifici ex experimentis methodo mixtionis institutis computantur. Regiom. 1834.

noch Hundertel eines Grades anzeigen, falls genaue Resultate erhalten werden sollen. Auch ist wohl noch die Wärmemenge zu berücksichtigen, welche durch das Glas des Thermometers absorbiert wird.

Nach der Methode des Eisschmelzens wird die specifische Wärme aus der Eismenge abgeleitet, die durch den bis zu einer bestimmten Temperatur erhitzten Körper geschmolzen werden kann. Ist die besagte Temperatur t , die Masse des Körpers m und seine zu suchende specif. Wärme c , so ist seine Wärmemenge met , und diese gibt er ab, wenn er sich beim Schmelzen des Eises auf 0° abkühlt. Nun weiß man, daß 1 Pfund Eis, um zu schmelzen, 79 Wärmeeinheiten absorbiert. Findet man nun, daß der betreffende Körper p Pfund Eis schmilzt, so sind hierzu $p \cdot 79$ Wärmeeinheiten erforderlich. Gewiß hat man jetzt die Gleichung $met = 79 \cdot p$, also $c = \frac{79 \cdot p}{mt}$.

Zur Ausmittlung der betreffenden Eismenge dient das Calorimeter von Lavoisier und Laplace (s. Bd. I. S. 926.).

Die Methode der Abkühlung wurde zuerst von L. Mayer *) durch den Satz eingeführt, daß die specifische Wärme eines Körpers aus der Zeit seiner Abkühlung hergeleitet werden könne. Je größer die specif. Wärme eines Körpers ist, desto langsamer wird er sich abkühlen. Leslie **) und Dalton ***) schenken dieser Methode sehr ihren Beifall; doch erlangte diese Methode erst durch Dulong und Petit eine gewisse Vollendung ****). Man läßt den Körper, nachdem er bis zu einer gewissen Temperatur erwärmt ist, im luftleeren Raume erkalten. Zur Temperaturbestimmung während des Erkaltes dient ein Thermometer mit cylindrischem Gefäße, welches letztere in ein polirtes Gefäß von Silber, das den betreffenden Körper enthält, gesteckt wird; und diese Vorrichtung bringt man in einen bleiernen Behälter, dessen Deckel in der Mitte eine metallene Hülse hat, in welche das Thermometer eingefittet wird. Ist der Körper fest, so wird er pulverisirt und das Pulver so in jenes Gefäß gedrückt, daß es das Gefäß des Thermometers ganz umgibt. Während des Versuches befindet sich der Behälter, dessen Innenwand beruht ist, in einem Oel- oder Wasserbade von constanter Temperatur. Nachdem derselbe luftleer gemacht ist, wird die Zeit beobachtet, in welcher das Thermometer um eine bestimmte Anzahl von Graden fällt. Steht nun diese Zeit im geraden Verhältniß zur Wärmecapacität des Körpers, und nennt man die Masse des letzteren m , die eines anderen m' , c und c' die entsprechenden spec. Wärmen dieser beiden Körper, so hat man für die Wärmemengen, welche diese Körper durch eine Temperaturerniedrigung von 1° verloren haben, die Ausdrücke mc und $m'c'$. Sind nun τ und τ' die beobachteten Erkaltszeiten, so ist $mc : m'c' = \tau : \tau'$ oder $\frac{mc}{m'c'} = \frac{\tau}{\tau'}$ das Verhältniß der specif. Wärmen dieser Körper. Erforderlich

*) Gesetze und Modificationen des Wärmestoffes. Erlangen 1796. Gren's Journ. d. Phys. Th. III. Grell's chemische Ann. 1798. St. 6. Ann. de Chim. T. XXX. p. 32. Herschel in Encyclop. metrop. Art. Heat p. 308.

**) Exper. Inquiry into the nat. of Heat. 1804.

***) Neues System des Chem. Theils der Naturw. Th. I.

****) Ann. de Chim. et Phys. T. X. p. 399.

ist, daß die Abkühlung langsam geschieht, daher die Beobachtung erst dann geschieht, wenn der Körper nur noch um eine verhältnißmäßig geringe Anzahl von Graden (etwa 5 — 10°) wärmer als die Umgebung ist. Auch muß, um genaue Resultate zu erhalten, der Einfluß des Gefäßes, worin der Körper sich befindet, und der Hülle, welche das Thermometer einschließt, noch berücksichtigt werden. Eine Fehlerquelle fand Regnault *) in der Feuchtigkeit, welche der ruhige Ueberzug absorbiert, und die Herstellung eines Vacuum beeinträchtigt. Auch kommt noch in Betracht, wie leicht diese Körper ihre Wärme an die Silberhülle abgeben.

Regnault **) wandte auf zweckmäßige Weise die Methode der Mischung (oder Mengung) an, um die specif. Wärme verschiedener Körper zu bestimmen. Es wurde dazu benutzt ein Gefäß mit drei cylindrischen Abtheilungen. Der Körper, dessen specif. Wärme zu bestimmen war, wurde in möglichst zerkleinertem Zustande in ein Körbchen aus Messingdraht gebracht. Dieses Körbchen kam nun, an Seidenfäden hängend, in die innerste Abtheilung jenes Gefäßes, in dessen zweite Abtheilung ein Dampfstrom geleitet wurde, um die innerste Abtheilung gleichmäßig zu erwärmen. Die Temperatur des betreffenden Körpers (im Körbchen) bestimmte ein Thermometer, dessen unterer Theil von dem zerkleinerten Körper umgeben war. Sobald das Thermometer eine stationäre Temperatur anzeigte, wurde das Körbchen mit seinem Inhalte (ohne das Thermometer) sofort in ein Gefäß mit Wasser gebracht, welches letztere so lange umgerührt wurde, bis ein eingetauchtes Thermometer eine stationäre Temperatur (die Endtemperatur der Mischung) zeigte. Hiernach ließ sich die specif. Wärme des Körpers auf die oben gezeigte Weise berechnen. Die Wärmemenge, welche das Drahtkörbchen dem Wasser entzog, wurde berücksichtigt.

Die specif. Wärme tropfbar flüssiger Körper läßt sich nach der Mischungsmethode, aber auch allenfalls nach den beiden anderen Methoden ermitteln.

Regnault erhielt für die specif. Wärme der nachbenannten Körper im Mittel die beigefügten Zahlen. Die specif. Wärme des Wassers ist als Einheit angenommen, und die angegebenen Werthe beziehen sich auf Temperaturen zwischen 0 und 100°.

Körper	Spec. Wärme	Körper	Spec. Wärme
Wasser . . .	1,00000	Blei	0,0314
Eisen	0,11379	Wismuth . . .	0,03084
Zink	0,09555	Antimon . . .	0,05077
Kupfer	0,09515	Zinn	0,05623
Silber	0,05701	Platin	0,03243
Arsenik	0,0814	Messing	0,09391

*) Ann. de Chim et Phys. T. LXXIII. p. 1.

**) Ann. de Chim. et Phys. 3^{me} Sér. T. IX. p. 322. Pogg. Ann. Bd. LXII. S. 80; vergl. auch Pogg. Ann. Bd. LI. S. 44. 213; Bd. LIII. S. 61. 243; Bd. LXXIV. S. 202, auch Bd. LXXVII. S. 99.

Körper	Spec. Wärme	Körper	Spec. Wärme
Gold	0,03244	Holzfohle . . .	0,24111
Kobalt	0,10696	Graphit	0,20187
Nickel	0,10863	Thierfohle . . .	0,26085
Eisen	0,11379	Diamant	0,14687
Gusseisen . . .	0,12983	Phosphor	0,18949
Weicher Stahl .	0,11650	Glas (zu Thermo-	
Quecksilber . .	0,03332	meterrohren) .	0,19768
Schwefel	0,20259		

Für die specifische Wärme des Eises fand man 0,513, für die des Kochsalzes 0,2260, Schwefelsäure 0,3350, Salzsäure 0,6200, Salpetersäure 0,6610, Alkohol 0,7000, Leinöl 0,5280.

Die specifische Wärme eines und desselben Körpers nimmt ab, wenn dessen Dichte zunimmt. So ist nach Regnault die spec. Wärme des schmiedbaren Kupfers 0,095, die des gehämmerten 0,093. Für die Holzfohle fand sich die spec. Wärme 0,2411, für die dichtere Steinkohle 0,2009 und für den Diamanten 0,1469.

Auch ist die spec. Wärme, wie die Versuche Dulong's und Petit's lehrten, für höhere Temperaturen größer als für niedere. Dies zeigt folgende Tabelle.

	Mittlere spec. Wärme	
	zwischen 0° u. 100°	zwischen 0° u. 300°
Eisen	0,1098	0,1218
Quecksilber . .	0,0330	0,0350
Zink	0,0927	0,1015
Antimon	0,0507	0,0549
Silber	0,0557	0,0611
Kupfer	0,0949	0,1013
Platin	0,0335	0,0355
Glas	0,1770	0,1900

Bouillet*) fand die spec. Wärme des Platins bei 100° C. = 0,03350, bei 200° = 0,03392, bei 500° = 0,03518, bei 1000° = 0,03728, bei 1200° = 0,03812.

Zahlreiche Bestimmungen der spec. Wärme verschiedener Körper sind auch von Reiman**) vorgenommen worden.

Die spec. Wärme der meisten Flüssigkeiten nimmt mit der Temperatur noch schneller zu als die der festen Körper. Auch ist die spec. Wärme jener größer

*) Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 573.

**) Pogg. Ann. Bd. XXIII. S. 1.

als dieser *). Ist die spec. Wärme des Wassers = 1, so ist nach Person die spec. Wärme des Eises 0,504. Die spec. Wärme des Wassers, welche gleichfalls mit wachsender Temperatur zunimmt, läßt sich nach Regnault bei irgend einer Temperatur t durch die Formel $c = 1 + 0,00004 t + 0,0000009 t^2$ bestimmen. — Für die spezifische Wärme des Quecksilbers im starren Zustande fand Regnault zwischen den Temperaturen -40° und $-77^\circ,75$ im Mittel 0,03192; die spec. Wärme des flüssigen Quecksilbers zwischen $+10$ und $+100^\circ$ ergab sich zu 0,03332.

Die spezifische Wärme der gasförmigen Körper suchte schon Crawford zu bestimmen. Lavoisier und Laplace benutzten das Eiscalorimeter zur Ermittlung der spec. Wärme der Luft und des Sauerstoffs **).

Auch Gay-Lussac ***) beschäftigte sich mit diesem Gegenstande und folgerte aus seinen Versuchen mit einiger Wahrscheinlichkeit, daß die spec. Wärmen aller Gase bei gleichem Volumen und unter gleichem Drucke einander gleich seien, was später auf die chemisch einfachen Gase eingeschränkt wurde, in der Weise, daß dieselben bei gleichem Volumen und constantem Druck dieselbe Capacität hätten wie die atmosphärische Luft. Am wichtigsten erschienen die Versuche von De la Roche und Bérard ****). Das getrocknete Gas wurde in einer mit kochenden Wasser umgebenen Röhre auf 100° erwärmt, dann ließ man es in einem gasförmigen Strome durch ein Schlangenrohr gehen, das sich in einem abgesonderten Wasserbehälter befand. Ein Thermometer gab die Temperatur an, bei der es in das Rohr einströmte, und ein anderes die Temperatur, bei welcher er aus dem Rohr hervortrat. Das Gas erwärmte nun, während es durch das Schlangenrohr ging, allmählig das Wasser, welches zuletzt eine constante Temperatur annehmen mußte, sobald es nämlich in jedem Augenblick ebenso viel Wärme empfing als es an die Umgebung verlor. Diese constante Temperatur mußte aber um so höher sein, je mehr Wärme das Gas dem Wasser zuführte. Nun gingen aber in gleichen Zeiten gleiche Gasvolumina durch das Schlangenrohr; daher mußten bei verschiedenen Gasen die Temperaturerhöhungen des Wassers den Wärmemengen proportional sein, welche gleiche Volumina dieser verschiedenen Gase an das Wasser abgaben. Die spec. Wärmen derselben verhielten sich hiernach wie jene Wärmemengen.

Eine andere Versuchreihe geschah in der Weise, daß sie die verschiedenen Gase der Reihe nach bei gleicher Temperatur und demselben Druck so lange durch das Schlangenrohr streichen ließen, bis das Wasser durch jedes um eine gleiche

*) De la Rive et Marcet, Ann. de Chim. et Phys. Ser. II. T. LXXV. p. 238. Pogg. Ann. Bd. LII. S. 142. Andrews, Quarterly Journ. of the chemical society of Lond. 1848. No. I., p. 27. Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 335. Ropp, Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 98; vergl. auch Desains, Compt. rend. T. XXIII. p. 149. Pogg. Ann. Bd. LXX. S. 315. Person, Ann. de Chim. et Phys. Ser. III. T. XXI. p. 318. Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 511. Regnault, Ann. de Chim. et Phys. Ser. III. T. XXVI. p. 268. Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 118.

**) Eine vollständige Zusammenstellung der Bestimmungen der spezifischen Wärme gasförmiger Körper bis zum Jahr 1836 giebt Suerman: Dissertatio physica inauguralis de calore fluidorum elasticorum specifico. Trans. ad Rhen. 1836.

***) Mém. de la Soc. d'Arceuil. T. I. p. 181. Gilb. Ann. Bd. XXX. S. 249. Ann. de Chim. etc. T. LXXXI. p. 98. Gilb. Ann. Bd. XLV. S. 321.

****) Ann. de Chim. T. LXXXV. p. 72.

Anzahl von Graden erwärmt war. Die Wärmecapacitäten verhielten sich dann wie die Volumina, welche durch das Schlangenrohr gehen mußten, um das Wasser auf denselben Grad zu erwärmen. Um aber den Einfluß der Umgebung zu eliminiren, geschah es auch hier, daß man das Gefäß vor dem Versuche unter die Temperatur der Umgebung erkaltete und den Versuch selbst in dem Augenblick beendigte, wo die Temperatur des Gefäßes ebenso hoch über der Temperatur der Umgebung stand als sie anfänglich unter derselben gewesen war. So nahm das Gefäß während der ersten Hälfte des Versuches ebenso viel Wärme aus der Umgebung auf als es während der zweiten Hälfte an dieselbe abgab. — Bérard und De la Roche erhielten nach beiden Versuchsweisen übereinstimmende Resultate. Der Apparat, den sie zu ihren Versuchen benutzten, ist im Wesentlichen ein Rumford'sches Wassercalorimeter; derselbe ist im Art. Calorimeter, Bd. I. S. 927 ff. beschrieben.

Sind nun die Verhältniszahlen der specifischen Wärmen für gleiche Gasvolumina ermittelt, so lassen sich auch leicht die spec. Wärmen für gleiche Gewichte finden, wenn man jene Zahlen durch das spec. Gewicht der betreffenden Gase dividirt. Dabei nimmt man insgemein die spec. Wärme der atmosphärischen Luft als Einheit an. Um jedoch die spec. Wärme der Gase mit der der starren Körper bequem vergleichen zu können, bezieht man sie auch auf die specifische Wärme des Wassers (= 1). Die Wärmecapacität der Luft in Bezug auf das Wasser konnte man aber dadurch ermitteln, daß man eine bestimmte Menge atmosphärischer Luft durch das erwähnte Schlangenrohr streichen ließ und die hierdurch dem Wasser mitgetheilte Wärme bestimmte. Die Capacität der Luft in Bezug auf das Wasser folgte dann nach der bekannten Mischungsmethode.

De la Roche und Bérard fanden folgende Werthe.

Gase	Spec. Wärme für gleiche Volumina	Spec. Wärme für gleiche Gewichte	
		Luft = 1	Wasser = 1
Atmosphärische Luft	1,0000	1,0000	0,2669
Sauerstoff	0,9765	0,8848	0,2361
Wasserstoff	0,9033	12,3401	3,2936
Stickstoff	1,0000	1,0318	0,2754
Stickstoffoxydulgas	1,3503	0,8878	0,2369
Kohlensäure	1,2583	0,8280	0,2210
Kohlenoxyd	1,0340	1,0805	0,2884
Delbildendes Gas	1,5530	1,5763	0,4207

Nach Regnault *) ist die specifische Wärme der Luft, in Beziehung auf Wasser, zwischen -30° C. und $+10^{\circ}$ C. 0,2377, zwischen $+10$ und $+100$ gleich 0,2379, zwischen $+100$ und $+225$ gleich 0,2376, so daß hiernach die spec. Wärme der Luft nicht merklich mit der Temperatur zunimmt. Versuche mit einigen anderen permanenten Gasen führten zu einem ähnlichen Schlusse.

*) Compt. rend. T. XXXVI. p. 676. Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 335.

Man sieht, daß Regnault's Werth für die spec. Wärme der Luft, in Bezug auf Wasser, viel geringer ist als der von Brand und De la Roche festgestellte. Regnault fand für die chemisch einfachen Gase folgendes.

Gase	Spec. Wärme dem		Dichtigkeiten.
	Gewichte nach	Volumen nach	
Sauerstoff	0,2182	0,2412	1,1056
Stickstoff	0,2440	0,2370	0,9713
Wasserstoff	0,4046	0,2356	0,0692
Chlor	0,1214	0,2962	0,4400
Prom.	0,05518	0,2992	5,39

Für verschiedene zusammengesetzte Gase und Dämpfe erhielt Regnault folgende Werthe.

Zusammengesetzte Gase und Dämpfe	Spec. Wärmen		Dichtigkeiten.
	nach Gewicht	nach Volumen	
Stickstoffoxydul	0,2238	0,3413	1,5250
Stickstoffoxyd	0,2315	0,2406	1,0390
Kohlenoxyd	0,2479	0,2399	0,9674
Kohlensäure	0,2164	0,3308	1,5290
Schwefelkohlenstoff	0,1575	0,4146	2,6325
Schweiflige Säure	0,1553	0,3489	2,2470
Chlornasserstoff	0,1845	0,2302	1,2474
Schwefelwasserstoff	0,2423	0,2886	1,1912
Ammoniak	0,5080	0,2994	0,5894
Einfach Kohlenwasserstoff	0,5929	0,3277	0,5527
Doppelt Kohlenwasserstoff	0,3694	0,3572	0,9672
Wasser	0,4750	0,2950	0,6210
Alkohol	0,4513	0,7171	1,5890
Aether	0,4810	1,2296	2,5563
Chlornasserstoffäther	0,2737	0,6117	2,2350
Promwasserstoffäther	0,1816	0,6777	3,7316
Schwefelwasserstoffäther	0,4005	1,2568	3,1380
Cyanwasserstoffäther	0,4255	0,8293	1,9021
Chloroform	0,1568	0,8310	5,30
Holländische Flüssigkeit	0,2293	0,7911	3,45
Eisigäther	0,4008	1,2184	3,0400
Aceton	0,4125	0,8341	2,0220
Benzin	0,3754	1,0114	2,6943
Terpentinöl	0,5061	2,3776	4,6978
Phosphorchlorür	0,1346	0,6386	4,7445
Arsenichlorür	0,1122	0,7013	6,2510
Siliciumchlorid	0,1329	0,7788	5,86
Zinnchlorid	0,0939	0,8639	9,2
Titanchlorid	0,1263	0,8634	6,8360

Für den Wasserdampf erhielt Regnault aus einer großen Zahl von Versuchen die specifische Wärme 0,475, kaum die Hälfte von derjenigen, welche De la Roche und Bérard fanden. Die specifische Wärme des Wasserdampfes ist nach Regnault sehr nahe gleich der des starren Wassers (des Eises), und nur die Hälfte von der des flüssigen Wassers.

Man unterscheidet rücksichtlich der Gase die spec. Wärme unter constantem Druck von derjenigen bei constantem Volumen. Jene ist diejenige Wärmemenge, welche ein Gas erhalten muß, damit seine Temperatur von 0° auf 1° erhöht werde, wenn es sich frei ausdehnen kann, so daß es eine constante Elasticität behauptet, wie dies auch bei den oben besprochenen Versuchen der Fall war. Die specifische Wärme unter constantem Drucke läßt sich allein auf directe Weise experimentell bestimmen, und ist in demselben Sinne zu verstehen, wie die specifische Wärme der starren und tropfbarflüssigen Körper. Die spec. Wärme bei constantem Volumen ist dagegen die Wärmemenge, welche ein Gas aufnehmen muß, um seine Temperatur von 0° auf 1° zu erhöhen, wenn es genöthigt ist, dasselbe Volumen beizubehalten, so daß es also seine Spannkraft erhöhen muß.

Denkt man sich eine gegebene Luftmasse, die durch eine Temperaturerhöhung von 1° unter constantem äußerem Druck bis zu einem gewissen Maße ausgebeht ist, wieder auf ihr voriges Volumen comprimirt, so wird sie eine neue Temperaturerhöhung 1' erfahren, woraus man denn geschlossen hat, daß die Wärmemenge, welche die Temperatur der gegebenen Luftmasse auf 1° erhöht, falls dieser freie Ausdehnung gestattet ist, eine Temperaturerhöhung von 1 + 1' Graden bewirkt, falls keine Ausdehnung der Luft stattfinden kann. Die Wärmecapacität bei constantem Drucke wird hiernach größer sein als die bei constantem Volumen. Bezeichnet nun c die spec. Wärme unter constantem Druck und c' diejenige bei constantem Volumen, so ist $\frac{c}{c'} = \frac{1 + 1'}{1}$.

Man hat verschiedene Wege eingeschlagen, um das Verhältniß zwischen der spec. Wärme c unter constantem Druck und der spec. Wärme c' bei constantem Volumen, nämlich $\frac{c}{c'} = k$ zu bestimmen. Dabei stützte man sich auf Versuche von Clément und Desormes *), besonders auf solche von Gay-Lussac und Welter **). Man versuchte dieses Verhältniß aus der Temperaturerhöhung zu ermitteln, welche durch die Compression der Gase bewirkt wird ***); allein dieser Weg führte zu keinem einigermaßen sichern Resultate. Einen anderen Weg bot die Geschwindigkeit des Schalles in irgend einem Gase, und diesen Weg schlug Dulong ein. Nach Laplace hat man für die besagte Geschwindigkeit (s. Art. Schall, Bd. V. S. 703 ff.) $v = \sqrt{\frac{g h}{D}} \cdot k$ oder auch $v = \sqrt{\frac{e}{d}} (1 + \alpha t) k$.

Kennt man nun die Geschwindigkeit v auf die eine oder andere Weise, so läßt sich aus dieser Formel das betreffende Verhältniß k berechnen, indem man

*) Journ. de Phys. T. XCIX. p. 333.

**) Laplace in Méc. cél. T. V. p. 128.

***) Ivory: Phil. Magaz. New. Ser. T. I. p. 449. Avogadro: Memoire della reale Academia delle Scienze di Torino. T. XXXIII. p. 237.

hat $k = \frac{v^2 d}{e(1 + \alpha t)}$. Den Werth von v bestimmte Dulong aber aus der

Tonhöhe einer Weise, welche einmal mit atmosphärischer Luft und dann auch noch einander mit verschiedenen Gasen gefüllt war (s. Art. Schall Bd. V. S. 704). Aus der bekannten Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft berechnete Dulong den Werth von k zu 1,421; für Sauerstoffgas fand er 1,415. Nimmt man nun die Wärmemenge, welche ein Cubikcentimeter Luft, das in einem Gefäße eingeschlossen sein Volumen nicht verändern kann, zur Temperaturerhöhung von 1° braucht, als Einheit an, so hat dasselbe Luftquantum, wenn es sich unter constantem Drucke frei ausdehnen kann, die Wärmemenge 1,421 nöthig, damit seine Temperatur um 1° erhöht werde. Diese Luftmasse wird sich dann, wenn ihre anfängliche Temperatur 0°C. war, um 0,00366 ausdehnen.

Wenn aber dieselbe Luftmasse, ohne Wärmeverlust auf ihr anfängliches Volumen comprimirt würde, so müßte dies eine Temperaturerhöhung von $1,421 - 1 = 0,421^\circ$ zur Folge haben. Diesen Ueberschuß betrachtet man als denjenigen Betrag der aufgenommenen Wärme, durch welchen die Ausdehnung bewirkt wurde. In ähnlicher Weise verhält es sich mit den übrigen Gasen.

Regnault fand bei Versuchen über die atmosphärische Luft, bei welchen der Druck von 1 bis 10 Atmosphären schwankte, keinen merklichen Unterschied zwischen den Wärmemengen, welche ein und dieselbe Gasmasse abgibt, wenn sie um ein und dieselbe Anzahl von Graden erkaltet; und hiernach würde die spezifische Wärme, im Widerspruch mit den Versuchen von De la Roche und Vêrard, die von Druckschwankungen von 1 bis nur 1,3 Atmosphären einen sehr merklichen Unterschied angaben, die spec. Wärme einer und derselben Gasmasse unabhängig sein von der Dichte. Versuche mit etlichen anderen Gasen führten zu analogen Schlüssen. Doch giebt Regnault dieses Gesetz mit einzigem Vorbehalt; es ließ sich noch nicht entscheiden, ob die Wärmecapacität unter verschiedenem Druck absolut constant sei oder einer sehr geringen Veränderung unterliege, da seine Versuche eine kleine Berichtigung wegen des Bewegungszustandes des Gases erfordern. —

Zwischen der specifischen Wärme und dem Atomgewichte der Körper findet eine gewisse Beziehung statt. Dulong und Petit *) stellten nämlich, auf Grund ihrer Versuche, das Gesetz auf, daß das Product aus dem Atomgewichte in die spec. Wärme der chemisch einfachen Stoffe eine constante Zahl giebt, oder daß die Atomgewichte sich umgekehrt wie die spec. Wärmen verhalten. Genauere Bestimmungen der Atomgewichte durch Berzelius ergaben jedoch bei verschiedenen Stoffen beträchtliche Abweichungen. Bei Schwefel, Gold, Platin, Zinn, Kupfer, Blei, Zink, Nickel, Eisen fand sich für das bezeichnete Product ein Mittel die Zahl 37,70. Tellur, Kobalt, Wismuth und Silber boten aber bedeutende Abweichungen.

Mancherlei Bedenken gegen dieses Gesetz erhob namentlich Potter **), die J. G. W. Johnston ***) zu beseitigen suchte. Hiernach sah sich

*) Ann. de Chim. et Phys. T. VII. p. 142; T. X. p. 395. Journ. de Phys. T. XCIX. p. 81. Mém. de L'Institut. 1827. p. 147.

**) Edinb. Journ. of Science. New. Ser. No. IX. 75.

***) Edinb. Journ. of Science. New. Ser. No. X. p. 265.

Potter *) durch Anstellung weiterer Versuche zur Aufstellung des Gesetzes veranlaßt, daß die Wärmemenge, welche einfache Körper abgeben, wenn sie von einer gegebenen Temperatur zu einer geringeren herabgehen, entweder der Zahl der Atome in ihren Massen proportional ist, oder zu dieser in einem einfachen Verhältniß steht. Auch Avogadro **) stellte über diesen Gegenstand Untersuchungen an, bei denen er von der Richtigkeit des Dulong-Betit'schen Gesetzes ausging. Durch Regnault's Untersuchungen über die spec. Wärme wurden die Zweifel bezüglich dieses Gesetzes wieder entfernt; er fand, daß das genannte Product nur innerhalb gewisser Grenzen (38 und 42) variire. Um beim Silber die Uebereinstimmung zu erzielen, war für sein Atomgewicht die Hälfte des von Berzelius ermittelten zu nehmen; und beim Wismuth wurde das ältere Atomgewicht 1330 anstatt des neueren 887 beibehalten. Die bemerkten Abweichungen ließen sich daraus ableiten, daß die Atomgewichte constant bleiben, während die spec. Wärmen mit der Dichte und Temperatur der Körper bis zu einem gewissen Maße veränderlich sind. Für die nachbenannten Stoffe ergaben sich die beigezeichneten Producte aus den Atomgewichten in die specifischen Wärmen.

Einfache Stoffe.	Spec. Wärme.	Atomgewicht.	Producte.
Kupfer	0,09515	395,70	37,849
Zink	0,09555	403,23	38,526
Eisen	0,11370	339,21	38,597
Silber	0,05701	675,80	38,527
Kobalt	0,10696	368,99	39,468
Platin	0,03243	1233,50	39,993
Gold	0,03244	1243,00	40,328
Blei	0,03140	1294,50	40,647
Schwefel	0,20259	201,17	40,754
Antimon	0,05077	806,45	40,944
Wismuth	0,03084	1330,40	41,028
Zinn	0,05623	735,29	41,345
Jod	0,05412	798,75	42,703

Neumann ***) zeigte, mit Bezug auf eine Reihe chemischer Verbindungen, daß das Dulong-Betit'sche Gesetz wahrscheinlicher Weise auch für alle chemisch ähnlich zusammengesetzte Stoffe Gültigkeit habe. Auch Regnault fand, daß bei allen analog zusammengesetzten chemischen Verbindungen mit gleicher atomistischer Formel die specifischen Wärmen im umgekehrten Verhältniß zu den Atom- (oder Äquivalent-) gewichten stehen. So fand sich z. B. für die Dryde, mit

*) Edinh. Journ. of Science. New. Ser. No. XI. p. 163.

**) Memorie della Società Italiana delle Scienze residente in Modena, T. XX. Fasc. 2. Ann. de Chim. et Phys. T. LV. p. 80; T. LVII. p. 113.

***) Pogg. Ann. Bd. XXIII. S. 32.

1 Aequiv. Sauerstoff, das Product aus der spec. Wärme in das Atomgewicht gleich 71,9, für die Sulphide, mit 1 Aequiv. Schwefel, gleich 74,5, für die Chloride, mit 1 Aequiv. Chlor, gleich 117,0, für die Iodide, mit 1 Aequiv. Iod, gleich 151,0, und für die Bromide ebenfalls gleich 151,0.

Die specifische Wärme einer Metalllegirung fand Regnault in vielen Fällen gleich der mittleren spec. Wärme der Metalle, aus welchen die Legirung besteht, nämlich für Temperaturen, welche um etwas vom Schmelzpunkte entfernt sind *).

Schröder **) fand, daß die specifische Wärme eines zusammengesetzten Körpers gleich der Summe der spec. Wärmen ist, welche seinen Bestandtheilen in jenem Condensationszustande zukommen, in welchen sie in der betreffenden Verbindung enthalten sind.

Bezüglich gewisser Verbindungen in fester Form hat man als annähernd richtig den Satz aufgestellt, daß das Product der specif. Wärme der Verbindung multiplicirt mit dem Atomgewicht gleich ist der Summe der Producte aus den Atomgewichten der Bestandtheile und den specif. Wärmen der letzteren. Wenn nun aber die Producte der specif. Wärmen der verschiedenen einfachen Körper mit ihren Atomgewichten einen und denselben Werth p liefern (was freilich bei manchen Stoffen nur stattfindet, wenn man die Hälften der chemischen Aequivalentzahlen mit der specif. Wärme multiplicirt), so muß man haben $S \cdot A = np$, wo S die specif. Wärme der Verbindung, A das Atomgewicht, und n die Anzahl der in der Verbindung enthaltenen Atome bezeichnet. Es ist $\frac{S \cdot A}{n} = p$. Die Richtigkeit

dieser Formel wurde von Garnier für eine Anzahl fester Verbindungen, und von Bödeker ***) für eine Anzahl gasförmiger Verbindungen dargethan. Der letztere legte hierbei die von Regnault ermittelten Werthe der specif. Wärmen bei constantem Drucke zu Grunde, bezog aber die specif. Wärme s auf die des Wasserstoffes als Einheit, so daß $S = 3,4046 \cdot s$ war. Auch wurde, unter Voraussetzung einer Condensation der gasförmigen Verbindung auf 4 Volume, $A = 2m$ gesetzt, wo m das specif. Gewicht der Verbindung bezeichnet, wenn das des Wasserstoffes als Einheit angenommen wird. Der Werth von p ist nun z. B. für Sauerstoff gleich 1,7456, für Wasserstoff 1,7023, für Stickstoff 1,7080, für Chlorgas 2,15485, für Bromgas 2,2027; nur hat man für Wasserstoff, Stickstoff, Chlor und Brom die Hälften der chemischen Aequivalente als sog. thermische Aequivalente angenommen. Nun wurde p im Durchschnitt gleich 1,7023 gesetzt,

so daß sich die Formel $\frac{S \cdot A}{n} = p$ in $\frac{3,4046 \cdot 2m \cdot s}{n} = 1,7023$ verwandelte.

Hieraus $s = \frac{n}{4m}$, ein Ausdruck, der sich noch vereinfacht, wenn man $\sigma = s \cdot m$

*) Ueber die normale specifische Wärme gewisser Legirungen und deren freiwilliges Erwärmen nach dem Gießen, vergl. Person: Compt. rend. T. XXV. p. 444. Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 472.

**) Pogg. Ann. Bd. LII. S. 269; vergl. auch Bd. LXXVI. S. 129 u. Bd. LXXVIII. S. 282.

***) Die gesetzmäßigen Beziehungen zwischen Zusammensetzung, Dichtigkeit und der spec. Wärme der Gase. Göttingen 1857. S. 38 ff. Chem. Centralb. 1858. S. 210.

setzt, wo σ die specif. Wärme für gleiche Volume bezeichnet. Und hiernach erhält man $\sigma = \frac{n}{4}$, d. h. die specif. Wärme einer gasförmigen Verbindung, wenn man die Zahl der in ihr enthaltenen thermischen Äquivalente durch 4 dividirt. — Die in manchen Fällen beträchtliche Abweichung zwischen Beobachtung und Rechnung brachten Schiff *) zu dem Vorschlage, daß man mit Rücksicht darauf, ob gewisse chemische Elemente innerhalb oder außerhalb des Radicals einer Verbindung stehend zu betrachten seien, das Verhältniß des thermischen Äquivalents dieser Elemente zum chemischen Äquivalent verschieden annehmen möge.

Besondere Gruppierungen (zu je drei) einer größeren Anzahl von chemischen Elementen und Verbindungen bezüglich der specifischen Wärme der Atome hat Kremer **) vorgenommen. Und Döling ***) hat die specif. Wärme der Atome, bei Gelegenheit einer Arbeit über die Gruppierung der Elemente nach ihrem chemischen Verhalten, nach einfachen Beziehungen ihrer Atomgewichte u. s. w., in einer Tabelle zusammengestellt, wobei die Atomgewichte gewisser Elemente doppelt so groß, als gebräuchlich, genommen sind.

Wenn die Hitze in starren Körpern eine gewisse Grenze übersteigt, so wird die Aggregation der kleinsten Theilchen eine andere; es findet ein Uebergang aus dem starren in den tropfbar flüssigen Zustand statt. Die Temperatur, bei welcher dies stattfindet, heißt der Schmelzpunkt des betreffenden Körpers; sie ist bei verschiedenen Körpern sehr verschieden (s. Art. Schmelzen Bd. V. S. 735). Während nun ein Körper schmilzt, d. h. aus dem starren Zustand in den tropfbar flüssigen übergeht, läßt sich keine weitere Erhöhung seiner Temperatur wahrnehmen, wenigstens nicht eher als bis die gegebene Masse des Körpers tropfbar flüssig ist. Ein in Eis oder Schnee gestelltes Thermometer bleibt selbst im wärmsten Zimmer stets auf 0°, so lange noch Eis oder Schnee vorhanden ist und schmilzt. Dem Eise oder Schnee wird aber stets von seiner Umgebung Wärme zugeführt; diese muß also verbraucht sein zur Aenderung des Aggregatzustandes des Körpers, und diese verbrauchte, aber durch kein Instrument angebbare Wärme ist es, die man gebundene oder latente Wärme nennt. Die beim Schmelzen gebundene Wärme wird beim Erstarren wieder frei. — Zur Ermittlung der beim Schmelzen eines Körpers latent werdenden Wärme kann man sich der oben bei Gelegenheit der specif. Wärme erörterten Mischungsmethode bedienen. Gesezt, es solle die latente Wärme eines Metalles bestimmt werden. Man schmelze eine gewisse Quantität m desselben, und gieße sie, nachdem ihre Temperatur t bestimmt ist, in eine Wassermasse $= M$ von der Temperatur T . Die Temperatur der Mischung sei $= z$. Nun hat das Wasser, indem es sich durch das Metall von T auf z erwärmte, eine Wärmemenge gleich $M(z - T)$ aufgenommen. Bezeichnet c die specif. Wärme des Metalles und x die beim Schmelzen desselben gebundene Wärme (die man auch die Schmelzwärme nennt), so ist die Wärmemenge, welche das Metall bei seinem Abkühlen (im Wasser) von t auf z verloren hat, gleich $mc(t - z)$; und hierzu kommt noch die Wärmemenge mx , die das Metall im Augenblick seines Erstarrens

*) Ann. der Chem. u. Pharmacie. Bd. CIV. S. 332.

**) Pogg. Ann. Bd. C. S. 89.

***) Phil. Magaz. 4. XIII. p. 497.

(im Wasser) abgegeben hat. Nun ist $mc(t-r) + mx = M(r-T)$, folglich

$$x = \frac{M(r-T) - mc(t-r)}{m}.$$

Die latente Schmelzwärme des Eises bestimmte zuerst Black *), und zwar zu 80° C. Lavoisier und Laplace **) bestimmten sie später zu 75° C., und von dieser Zahl machte man lange Zeit hindurch Gebrauch.

Die latente Wärme des Eises bestimmt sich nach der Mischungsmethode folgendermaßen. Nimmt man eine Quantität Eis = m von 0° C., und Wasser = M von T °, mischt beide mit einander, und findet die Temperatur der Mischung = r , so ist mr die Wärmemenge, welche das aus dem Eis entstandene Wasser erhalten, und $M(T-r)$ diejenige, welche das Wasser verloren hat. Braucht nun die Masseneinheit des Eises zum Schmelzen die Wärmemenge x , so ist die zum Schmelzen der Masse m nöthige Wärmemenge mx . Die verlorene Wärme des Wassers ist verbraucht, einmal um das Eis zu schmelzen, und hierzu war also nöthig mx , und dann um das hieraus entstandene Wasser bis auf r ° zu erwärmen, wozu mr nöthig war. Daher ist $mr + mx = M(T-r)$ oder $x = \frac{M(T-r) - mr}{m}$.

In neuerer Zeit haben de la Provostaye und Desains ***) die Schmelzwärme des Eises am genauesten bestimmt. Eine gewogene Wassermenge wurde in einem Gefäße von dünnem Messingblech auf drei Spitzen gestellt, um alle Ableitung der Wärme, außer durch Strahlung, zu vermeiden. Die aus der letzteren entspringenden Fehler wurden gehörig corrigirt. In das Wasser kam ein mit Fließpapier getrocknetes Stück Eis und nach dem Schmelzen wurde das Gefäß wieder gewogen. Alsdann wurde nach der obigen Formel die latente Wärme des Eises berechnet. Die nöthigen Temperaturbestimmungen geschahen mit genau geprüften Thermometern. Aus einer größeren Anzahl von Versuchen ergab sich nun auf diese Weise für die latente Wärme des Eises 79°,25 C., also ein Werth, der dem von Black gefundenen bei weitem näher liegt, als der von Lavoisier und Laplace bestimmte. So wird also 1 Pfund Eis, wenn es in Wasser von 0° übergeht, so viel Wärme aufnehmen, als erforderlich wäre, um 79,25 Pfund Wasser von 0° auf 1° oder, was dasselbe sagen will, um 1 Pfund Wasser von 0° auf 79°,25 zu erwärmen.

Nach Berjon beträgt die Schmelzwärme für Zink 28,13, für Blei 5,37, für Wismuth 12,64 und für Zinn 14,25.

Bei dem Erstarren der Körper wird nun die Wärme, die vorher (beim Flüssigwerden) gebunden war, wieder frei. Daher behält Wasser beim Gefrieren stets die Temperatur 0°, und steigt selbst unter 0° erkaltetes Wasser im Moment des Gefrierens bis auf diesen Grad.

Leicht läßt sich die freiwerdende Wärme beim Erstarren des Glaubersalzes zeigen. Wird nämlich eine möglichst concentrirte Auflösung desselben bei der Siedhize bereitet, noch warm in Gläser gefüllt, die an einem ruhigen Ort gestellt und

*) Lectures etc. T. I. p. 79 u. 504. Herschel in Encyclop. metrop. art. Heat. p. 319.

**) Mém. de l'Acad. de Par. 1780.

***) Compt. rend. T. XVI. p. 837, 977. Ann. de Chim. et Phys. 3me Sér. T. VIII. p. 5. Pogg. Ann. Bd. XLIX. S. 163; Bd. LXII. S. 30.

durch einen Kork geschlossen sind; so ist nach der Abkühlung nur ein Öffnen der Gläser, oder ein Körnchen krystallisirten Glaubersalzes, das hineingeworfen wird, hinreichend, um die ganze Masse plötzlich krystallisiren zu lassen. Faßt man das vorher kalte Glas an, so wird man deutlich Wärme wahrnehmen. Man kann auch, um die schnelle Krystallisation zu bewirken, gleich ein Thermometer hineinhalten, und wird finden, daß es steigt. (Vergl. Art. Lösung Bd. IV. S. 649 ff.)

Man weiß, daß ein geschmolzener Körper, bei hinreichender Ruhe, unter seine Schmelz- oder Erstarrungstemperatur erkaltet werden kann, ohne zu erstarren. Durch eine Erschütterung seiner Theilchen wird er dann je nach den Umständen ganz oder zum Theil fest; auch kann die Temperatur, die er beim vollständigen Erstarren seiner Masse annimmt, verschieden ausfallen. Es ist dies Alles davon abhängig, wie weit der Körper unter seinen Schmelzpunkt abgeköhlt war. Ist die latente Schmelzwärme gerade ausreichend, um die Temperaturerniedrigung unter den Schmelzpunkt auszugleichen, so wird die ganze Masse starr und nimmt die Schmelztemperatur an. War dagegen die Temperaturerniedrigung beträchtlicher, so wird bei einer Erschütterung der flüssigen Masse diese letztere zwar auch durchweg starr, aber ihre Temperatur bleibt unter dem Schmelzpunkt. Wenn jedoch die anfängliche Temperaturerniedrigung geringer war, so wird ein Theil der Masse starr, während der übrige Theil flüssig bleibt und das Ganze die Schmelztemperatur annimmt. Mit Bezug auf diese Sätze hat Desains einige hieher gehörige Aufgaben mathematisch behandelt *).

Die Temperatur, bei welcher ein Körper erstarret, ist abhängig von dem Drucke, unter welchem er steht. J. Thomson fand auf theoretischem Wege, daß die Körper unter einem höheren Drucke bei einer niedrigeren Temperatur erstarren müssen; und W. Thomson fand durch den Versuch, daß der Gefrierpunkt des Wassers um $0,0074 \cdot n^{\circ}\text{C.}$ erniedrigt wird, wenn der Druck um n Atmosphären zunimmt **). Auch Bunsen ***) hat solche Versuche mit verschiedenen Substanzen angestellt. —

Mischungen verschiedener Metalle schmelzen leichter als die einzelnen Metalle selbst ****). Schaffgotsch *****) fand auch bei einigen Salzgemengen eine auffallende Schmelzpunkterniedrigung. Essigsaures Kali schmilzt bei 292° , essigl. Natron bei 319° , ein Gemenge beider Salze im Verhältniß ihrer Atomgewichte bei 224° . Salpetersaures Natron schmilzt bei $313^{\circ},1$, salpeters. Kali bei $338^{\circ},3$, ein Gemenge beider Salze im Verhältniß ihrer Atomgewichte bei $225^{\circ},6$.

Ueber einige bemerkenswerthe Wärmeerscheinungen beim Erstarren von Legirungen, die von Rudberg und Person genauer untersucht sind, vergleiche man den Art. Legirung Bd. IV. S. 419 ff.

Nach Person †) läßt sich die latente Schmelzwärme angenähert durch die Formel $(n + 1)\delta = l$ geben, worin l die latente Wärme, n eine Constante, i die

*) Instit. 1857, 287.

**) Phil. Magaz. 1850. Vol. XXXVII. p. 123. Pogg. Ann. Bd. LXXXI. S. 163. Vergl. auch Clausius in Pogg. Ann. Bd. LXXXI. S. 168.

***) Pogg. Ann. Bd. LXXXI. S. 562.

****) Vergl. Art. Schmelzen Bd. V. S. 737.

*****) Pogg. Ann. Bd. CII. S. 293.

†) Ann. de Chim. et Phys. N. S. III. T. XXI. p. 298. Pogg. Ann. Bd. LXXIV S. 409, 509.

Schmelztemperatur, und $\delta = C - c$ den Unterschied der specif. Wärmen im flüssigen und starren Zustande bezeichnet. Diese Formel sagt, daß die latente Schmelzwärme gleich sei dem Unterschiede der specif. Wärmen im starren und flüssigen Zustand, so oft genommen als Grade vorhanden sind vom Schmelzpunkte an bis zum Grade n unter Null.

Die specif. Wärme des Eises bestimmte Person nach drei Methoden: 1) durch die Erkaltung, welche Eis von etwa -20°C. in einer Flüssigkeit bewirkt, in der es sich erwärmt, ohne zu schmelzen; 2) durch das Gewicht des Eises, welches es im Wasser von 0° hervorbringt; 3) durch die Erkaltung, welche es in einer Wassermasse veranlaßt, die es nach der Erwärmung desselben zu schmelzen im Stande ist. Person nimmt hiernach für die specif. Wärme des Eises 0,504 an. Setzt man nun die specif. Wärme des (flüssigen) Wassers $C = 1$, so ist bezüglich der obigen Formel $\delta = C - c = 1 - 0,504 = 0,496$. Hieraus folgt mit Rücksicht auf die latente Schmelzwärme des Eises die obige Constante $n = 159,8$ (wo $i = 0$), so daß sich nun setzen läßt $(160 + i)\delta = l$.

Sodann sucht Person zu zeigen, daß die latente Wärme des Wassers variabel ist, und diese variable Wärme durch die obige Formel gegeben wird. So entwickelt das Wasser, wenn es bei 0° erstarrt, 79,2 Wärmeeinheiten, aber wenn es bei -10° erstarrt, nur 74,2. — Hiernach sucht er die Formel $(160 + i)\delta = l$ auch für die latente Wärme anderer Substanzen zu bewahrheiten. Zu diesem Behufe werden die specif. Wärmen verschiedener Substanzen im starren und flüssigen Zustande ermittelt, und die entsprechenden latenten Wärmen einmal durch den Versuch bestimmt und dann nach der Formel berechnet. Die nachstehende Tafel giebt eine Uebersicht der betreffenden Bestimmungen.

	Schmelzpunkt.	Specifische Wärme im		Latente Wärme	
		starren Zustande.	flüssigen Zustande.	gefunden	berechnet.
Wasser	0°	0,504	1,0000	79,25	79,20
Phosphor	44,2	0,1788	0,2045	5,034	5,243
Schwefel	115	0,20259	0,234	9,368	9,350
Salpetersaures Natrium	310,5	0,27821	0,413	62,975	63,4
Salpetersaures Kali	339	0,23875	0,33186	47,371	46,462

Hiernach läßt sich, wenigstens für die in der Tafel enthaltenen Substanzen, sagen, daß die latente Schmelzwärme gleich sei dem Unterschiede der specifischen Wärmen im starren und flüssigen Zustande, so oft genommen als es Grade giebt vom Punkte der Aenderung des Aggregatzustandes an bis zu 160 Graden unter Null.

Person giebt der Formel $(160 + i)\delta = l$ noch einen anderen Ausdruck. Sind c und C die specif. Wärmen im starren und flüssigen Zustande, so wird $(160 + i)c$ die Zahl von Wärmeeinheiten sein, die in der Gewichtseinheit bei starrem Zustande von -160° bis i° enthalten sind. Fügt man die latente

Wärme l hinzu, so hat man die Wärme, die in der Flüssigkeit zwischen denselben Grenzen enthalten ist. Da nun $C - c = \delta$, so folgt $(160 + 1)c + l = (160 + 1)C$, d. h. die Wärme, die man einer flüssigen Masse entziehen müßte, um sie auf -160°C. zu erkälten, läßt sich berechnen, wie wenn diese Masse flüssig bliebe, ohne Rücksicht auf die specif. Wärme der starren Masse und die latente Wärme. — Person betrachtet die Temperatur von -160°C. als die möglichst niedrige, als diejenige, bei welcher keine Wärme mehr in den Körpern enthalten ist *).

Nach Person **) besteht eine besondere Beziehung zwischen dem Elasticitätscoefficienten der Metalle und deren latenter Schmelzwärme. Schmilzt man ein Metall, so muß die Cohärenz aller seiner Theilchen bis zu einem gewissen Grade überwunden werden. Es giebt dabei einen Aufwand von lebendiger Kraft und es ist natürlich, daß der Aufwand von Wärme dem an lebendiger Kraft proportional sei. Person findet, wenn man die Elasticitätscoefficienten der Metalle mit ihrer latenten Wärme vergleicht, eine merkwürdige Proportionalität. Es bedarf z. B. der doppelten Kraft, um das Zink ebenso zu verlängern als das Zinn; es bedarf auch eines doppelten Aufwandes von Wärme, um das erstere zu schmelzen. Nach Person muß die latente Schmelzwärme proportional sein einer Function des Elasticitätscoefficienten, welche die Arbeit vorstellt, die nöthig ist, um die Cohäsion der in der Gewichtseinheit enthaltenen Theilchen aufzuheben oder wenigstens auf diejenige zurückzuführen, welche noch im flüssigen Zustande vorhanden ist. Die Abschätzung dieser Arbeit führte zu der Formel:

$$\frac{l}{l'} = \frac{q}{q'} \left\{ \frac{1 + \frac{2}{\gamma_p}}{1 + \frac{2}{\gamma_{p'}}} \right\}.$$

In dieser Formel bedeuten l, l' die latenten Schmelzwärmen zweier Metalle, q, q' die Elasticitätscoefficienten derselben (oder die zu einer gleichen Verlängerung zweier gleichen Stäbe erforderlichen Kräfte), p, p' die specif. Gewichte. Die latenten Schmelzwärmen l, l' stehen also im Verhältniß der Elasticitätscoefficienten, vermehrt um eine gewisse Größe, die von den specif. Gewichten p und p' abhängt.

Wird eine tropfbare Flüssigkeit bis zu einer gewissen Temperatur erhitzt, so verschwindet in Folge des Wärmeeinflusses die Anziehung, welche bis daher noch zwischen den kleinsten Massentheilchen der Flüssigkeit bestand; an die Stelle dieser Anziehung tritt nun eine Abstoßung, und die tropfbare Flüssigkeit geht über in den gasförmigen Aggregatzustand. Die bezeichnete Temperatur, bei welcher diese Erscheinung eintritt, nennt man den Siedpunkt. Auch beim Uebergange einer tropfbaren Flüssigkeit in den gas- oder dampfförmigen Zustand wird eine gewisse Wärmemenge latent, die bei der Rückkehr in die tropfbarflüssige Form wieder frei wird. Die hierher gehörigen Erscheinungen finden sich ausführlich besprochen im Art. Dampf Bd. II. S. 20, 53 ff. (vergl. auch Art. Sieden Bd. V. S. 861.)

*) Ann. de Chim. et Phys. Ser. III. T. XXIV. p. 129. Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 426.

**) Compt. rend. T. XXVII. p. 288. Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 460.

Wir erwähnen hier beiläufig, daß *Kremers* *) bei einer Vergleichung der relativen Lage der Schmelz- und Siedepunkte solcher Elemente und Verbindungen, welche nach ihrem chemischen Charakter einer nämlichen Gruppe angehören, bemerkte, daß jene Temperaturspunkte (mit sehr wenigen Ausnahmen) von einem Körper zum andern sich in einerlei Sinn ändern.

Im Art. Dampff (S. 43—49) ist auch das sog. *Leidenfrost'sche* Phänomen näher besprochen. Wir geben hier einige Ergänzungen, die sich insbesondere auf die Gestalt des dem Versuche unterworfenen Tropfens beziehen. Schon im Jahre 1801 macht *Klaproth* **) die Bemerkung, daß der Rand des kugelförmigen Tropfens ausgezackt zu sein scheine; und *Baudrimont* *** glaubte zwei sich rechtwinklig kreuzende Ellipsoide zu sehen. Eine ausgezackte (sternförmige) Gestalt beobachtete auch *R. Vötiger* ****), und zwar bemerkte er eine ungerade Anzahl von Strahlen oder Zacken. *Emmian* *****) suchte dann mit Bezug hierauf vielmehr eine gerade Anzahl von Zacken als wesentlich aufzustellen. Diese gerade Anzahl würde dann sehr bestimmt und vielfältig von *Schnaß* †) beobachtet. Befindet sich in der Mitte des ruhigen Tropfens ein Platindraht oder Glasstab, so sieht man kleinere oder größere Blasen aufsteigen; zieht man dann den Draht langsam in senkrechter Richtung heraus, so geräth, wie *Schnaß* beobachtete, der ganze Tropfen in eine hüpfende Bewegung, wobei er die schönsten Formen annimmt und sich mehr oder weniger schnell um seinen Mittelpunkt bewegt. — Auf der Oberfläche des schwingenden Tropfens bemerkt man ein System radialer Wellen, deren Zahl mit den sämmtlichen Hervorragungen entweder übereinstimmt oder ein Multipel davon zu sein scheint. Die Beobachtung dieser Wellen (bei größeren Tropfen) wird durch einen im Wasser fein vertheilten pulverförmigen Körper erleichtert. Sieht man die Wellen nicht als excentrisch strahlende, sondern als concentrische Wellen, so erscheint meist, und bei kleineren Tropfen fast, der äußere Rand kreisförmig glatt; nur bei sehr großen Tropfen sind in der Mitte concentrische Wellen wahrzunehmen, die nach Außen in radiale übergehen, wobei, in Uebereinstimmung mit denselben, der Rand die Sternform zeigt.

Van Kerkhoff ††) fand, daß der Tropfen, unter gewissen Umständen, anstatt die Sternform anzunehmen, seine kreisförmige Gestalt behält, aber in seiner Mitte erschüttert wird, während größere Dampfblasen denselben durchbrechen, und dadurch eine Menge größerer oder kleinerer Tropfen aufwärts geworfen wird. Das abgeplattete Sphäroid bietet, wie *v. Kerkhoff* sagt, gewissermaßen die Gestalt eines mikroskopischen Vulkan dar. Der Tropfen schwillt bei ganz unverändertem Rand in horizontaler Dimension etwas an und wird plötzlich von einer oder mehreren aufeinanderfolgenden Dampfblasen durchbrochen, die entweder einen Wasserstrahl oder viele einzelne Tropfen bis zu einer relativ beträchtlichen Höhe heraufschleudern.

*) Vergl. *Pogg. Ann. Bd. C. S. 261.*

**) *Scheerer's allgem. Journ. d. Chemie VII. S. 636.*

*** *Journ. de Pharm. XVI. p. 666. (anno 1836.)*

**** *Journ. der Chem. (Getmann) Bd. X. S. 108. (anno 1837.)*

***** *Geschichte des Leidenfrost'schen Phänomens (Programm). Stettin 1845. S. 16.*

†) *Pogg. Ann. Bd. LXXIX. S. 432; vergl. auch Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 510.*

††) *Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 136.*

Die ausgezackte Form (Sternform) entsteht nach *Kerckhoff* am leichtesten, wenn man zu dem Sphäroid eine neue Quantität Wasser in der Richtung zum Mittelpunkt hinzuzufügen läßt. — Einen besonderen Vortheil bei allen diesen Versuchen gewährt die Anwendung von heißem, fast kochendem Wasser.

Wenn man mittelst einer Sprigflasche etliche Tropfen in tangentialer Richtung zu dem kreis- oder sternförmigen Tropfen bringt, so beginnt dieser zu rotiren. Die Sternform bleibt hierbei, falls sie vorhanden war, anfangs bestehen; doch hat die Rotation zur Folge, daß die Wellen nicht mehr als stehende, sondern als fortlaufende erscheinen. Wird die Rotation schneller, so werden die Wellen breiter und undeutlicher. Mit zunehmender Rotation verschwinden sie endlich ganz, und das Phänomen des Aufspritzens, herbeigeführt durch große Blasen, die sich in der Mitte des Tropfens von unten auf erheben, tritt hervor. Während die Dampfenwicklung und das Herausschleudern kleiner Tropfen fortbauert, vermindert sich ohne neues Hinzuspritzen die Intensität der Rotation, und endlich erscheint von Neuem die Sternform. — Auch untersuchte *Kerckhoff* die Erscheinungen, welche beim Eintauchen einer ziemlich weiten Glasröhre in den sphäroidalen Tropfen veranlaßt werden. Es wurden zwei gewöhnliche cylindrische Reagenzgläser gebraucht, welche, umgestürzt, in vertikaler Richtung hineingebracht wurden, ohne den Boden der Platinschale zu berühren. Das eine bildete eine Glocke, das andere, dessen Boden durchlöchert war, eine an beiden Enden offene Röhre. *Kerckhoff* faßt die Resultate seiner Beobachtungen folgendermaßen zusammen. 1) Die reine Sphäroidalform (des Tropfens) findet nur statt a) bei kleinsten Tropfen im Zustande der Ruhe oder b) bei etwas größeren, wenn sie fortwährend ihren Platz verändern. 2) Die stehende oder drehende Sternform tritt am besten bei größeren Tropfen hervor, die an der nämlichen Stelle verharren und keiner Rotation um ihre Ase oder höchstens der geringstmöglichen unterworfen sind. 3) Die Centrifugalkraft wirkt dieser Sternform bestimmt entgegen und veranlaßt sogar eine ganz andere Erscheinung, nämlich das Aufwallen in der Mitte (was *Kerckhoff* mit dem Namen Eruptionsform bezeichnet). 4) Ein Druck in der Mitte der oberen Fläche, durch die eingetauchte Glocke bewirkt, hemmt dieses Aufwallen und verstärkt die Wellen am Rande. 5) Eine Art Zug in der oberen Mitte (durch die offene Röhre hervorgebracht) hat den entgegengesetzten Erfolg, indem die Eruptionsform verstärkt und die Sternform geschwächt und selbst vernichtet wird. 6) Die beiden Formen existiren wohl gleichzeitig bei sehr großen Tropfen und gemäßigter Rotation. 7) An der oberen Fläche der Sternform herrscht eine Bewegung vom Umfang zum Centrum, an der unteren Fläche dagegen eine Bewegung vom Centrum zum Umfang. 8) Die Eruptionsform ist das Resultat von zwei der eben erwähnten entgegengesetzten Bewegungen, nämlich einer Centrifugalbewegung an der oberen Fläche und einer Centripetalbewegung an der unteren Fläche des Tropfens. 9) Die Zahl der Hervorragungen ober Wellen bei der Sternform erscheint durch optische Täuschung doppelt so groß als sie wirklich ist.

Ueber die Ursache dieser Erscheinungen stellt *Kerckhoff* unter der wohl begründeten Voraussetzung, daß zwischen dem sog. sphäroidalen Tropfen und der glühenden Fläche sich eine Dampfschicht befindet, folgende Ansicht auf. Bei geringer Ausdehnung der unteren Fläche des Tropfens findet der langsam sich entwickelnde Dampf Gelegenheit, seitwärts auszufließen, ohne eine bedeutende

Spannung zu erlangen, was auch noch geschieht, wenn der Tropfen größer ist und jeden Augenblick seine Lage auf der glühenden Metallfläche verändert. Falls aber ein größerer an einer und derselben Stelle verweilt, kann der Dampf unter ihm eine höhere Spannung erreichen und fängt an, stoßweise auszufließen, wodurch die Sternform gebildet wird. Hiermit in Einklang soll die schon von Schnaupp beobachtete Vermehrung der Wellenzahl bei steigender Hitze stehen. Erhält der Tropfen noch mehr Ausdehnung, so vergrößert sich die Dampf erzeugende untere Fläche in größerem Verhältniß als der ringsförmige Raum, wodurch er austreten kann, und dann entsteht in der Mitte die Eruptionsform, während an den Rändern noch die Sternform besteht. Durch die Centrifugalkraft wird aber bei der Rotation des Tropfens seine Dicke in der Mitte geringer, am Rande dagegen größer, so daß nun der Dampf leichter durch die Mitte heraufsteigt und die Eruptionsform sich stärker ausbildet. — Nach dieser Erklärung würde außer der vibrirenden Bewegung der einzelnen Theilchen des sphäroidalen Tropfens noch eine translatorische stattfinden, wenigstens bei den Theilchen der Gesamtoberfläche.

Verson suchte darzuthun, daß es die Spannkraft der Wasserdämpfe und nicht, wie Boutigny meint, die strahlende Wärme sei, welche Flüssigkeiten, also auch den Tropfen beim Leidenfrosth'schen Phänomen, von glühenden Flächen entfernt hält. Zu diesem Behufe nahm Verson eine S förmige Röhre, und tauchte das eine Ende derselben lothrecht durch die Flüssigkeit bis auf den glühenden Boden des Gefäßes. Eine die zweite Biegung absperrende Flüssigkeit zeigte dann einen Niveauunterschied gleich der Dicke der erhitzten Flüssigkeit. Auch hing er einen Tropfen in einen zu einem horizontalen Ringe geformten Platinendraht dicht über die glühende Fläche auf, und sah dessen Verdampfung ebenso verlangsamt, wie wenn derselbe sich frei überlassen war *).

In einer gewissen Beziehung zum Leidenfrosth'schen Phänomen steht eine neuerdings von Boutigny hervorgehobene Erscheinung **), die in technischen Kreisen hier und da wohl schon längst bekannt war. Man bezeichnet dieselbe auch durch den Ausdruck „Feuerprobe“ und sie besteht der Hauptsache nach darin, daß man einen benetzten Finger (oder die benetzte Hand) in eben geschmolzenes Metall (Buchdruckermetall, Blei, Eisen, Kupfer) tauchen kann, ohne das Glied zu verletzen oder auch nur eine Empfindung von Hitze zu haben. Selbst mit trockner Hand hat man wohl diesen Versuch ohne Nachtheil wiederholt. Plücker ***), welcher sich von der Wichtigkeit dieser Versuche in einer Maschinenfabrik überzeugte, fühlte, wie das geschmolzene Eisen (gewissermaßen) vor seinem Finger floss; und ein bei diesen Versuchen Anwesender bemerkte, daß die zuvor in Wasser eingetauchte Hand nur so weit trocken herauskam, als sie nicht in das Eisen eingetaucht war. Die kleinen Härchen auf den eingetauchten Fingern waren überall verschwunden, die Nägel hatten aber durchaus nicht gelitten, auch war kein besonderes Eindringen der Wärme durch die Nägel bemerkbar. Die herausgezogene Hand hatte einen schwach brennlichen Geruch, der, wo Schwielen vorhanden, stärker war; aber nirgends das geringste Gefühl einer Verbrennung oder auch nur einer unan-

*) Compt. rend. T. XXXI. p. 900. T. XXXII. p. 463. Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 274.

**) Vergl. Dingler's polytechn. Journ. Bd. CXII. S. 386; CXIII. S. 77.

***) Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 428.

genehmen Hitze. — Uebrigens erzählte schon Lichtenberg, er habe einen Arbeiter in einer Kupferschmelzhütte gesehen, welcher von dem geschmolzenen Metalle mit der Hand ausschöpfte, für welches Kunststück er sich bloß dadurch vorbereitet, daß er die Hand einige Augenblicke in die Aschelhöhle gehalten habe, um dieselbst mit etwas Feuchtigkeith überzogen zu werden *).

In Rücksicht auf die Spannkraft der Dämpfe verweisen wir auf Art. Dampf und Dampfmaschine. Es sei hier nur noch erwähnt, daß Regnault **) neuerdings die Resultate einer Untersuchung über die Spannkraft der Dämpfe bei verschiedenen Temperaturen im Vacuo und in Gasen, und über die Spannkraft der Dämpfe aus gemengten oder geschichteten Flüssigkeiten bekannt gemacht hat. Er fand, daß das Dalton'sche Gesetz auf die Dämpfe solcher Flüssigkeiten, die sich gegenseitig auflösen, nicht anwendbar ist. Die Spannkraft der Dämpfe einer Mischung von zwei sich gegenseitig auflösenden Flüssigkeiten ist stets geringer als die Summe der Spannkraft bei derselben Temperatur, und die Spannkraft der Dämpfe der Mischung ist abhängig von dem Verhältniß, in welchem die Flüssigkeiten in dieser Mischung vorhanden sind. Dieses Resultat hatte jedoch Magnus schon vor 18 Jahren veröffentlicht ***); auch fand derselbe, daß die Temperatur der Dämpfe, welche aus einer kochenden Mischung zweier Flüssigkeiten, die keine Einwirkung aufeinander ausüben, entweichen, geringer ist als die der tropfbaren Mischung, — eine Erscheinung, die Regnault am betreffenden Orte nicht aufführt ****).

Wir haben nun hier noch die wichtige Beziehung zwischen Wärme und mechanischer Arbeit hervorzuheben. Eine hierher gehörige Thatsache ist die, daß, wenn z. B. durch Reibung (oder auch Stoß) Wärme entwickelt wird, die darauf verwendete mechanische Arbeit der erzeugten Wärme proportional ist, und daß, wenn durch Wärme mechanische Arbeit erzeugt wird, ein dieser Arbeit proportionaler Theil der Wärme latent wird oder verschwindet.

Es war zuerst S. Carnot *****), welcher darzuthun suchte, daß stets da, wo durch Wärme eine gewisse Arbeit geleistet wird, eine dieser Arbeit entsprechende Wärmemenge von einem wärmeren zu einem kälteren Körper übergehe. Hiernach rührt die von einer Dampfmaschine geleistete Arbeit her von dem Uebergange der Wärme der heißeren Quelle, welche die Wärme liefert, zu dem kälteren Condensator, der sie zuletzt aufnimmt. Clapeyron †) suchte diese Ansicht mathematisch zu entwickeln, und fand, daß die von demselben Gase gewonnenen oder verlorenen Wärmemengen nicht unter allen Umständen allein von seinem Anfangs- und Endzustand abhängen können, sondern auch durch die intermediären Zustände, die es durchlaufen hat, bedingt sein müssen. Sonst nahm man an, daß die Wärmemengen nur von dem Anfangs- und Endzustand der Temperatur und des Druckes abhängig seien, so daß die von demselben Gase entwickelten oder absorbirten Wärmemengen gleich seien, wenn das Gas aus einem Anfangszustand in einen identischen Endzustand übergehe, gleichviel wie dieser Uebergang geschehe.

*) Gehler's physf. Wörterb. Bd. X. S. 803.

**) Compt. rend. T. XXXIX. p. 301, 345, 397. Pogg. Ann. Bd. XCIII. S. 537.

***). Vergl. Art. Dampf Bd. II. S. 35 ff.; auch Pogg. Ann. Bd. XCIII. S. 579.

****). Ueb. Dämpfe u. Dampfmaschine f. auch Blücher u. Pogg. Ann. Bd. XCII. S. 493.

*****). Réflexions sur la puissance motrice du feu. 1824.

†) Journ. de l'école polytech. T. XIV. p. 170. Pogg. Ann. Bd. LIX. S. 446, 566.

Sodann beschäftigten sich (unabhängig von einander) mit diesem Gegenstande G. Holzm ann *), Joule **) und Mayer ***) ****).

Entspricht nun einer bestimmten Wärmemenge eine bestimmte mechanische Arbeit, die sie verrichten kann (s. v. Art. Mechanische Arbeit), und zwar so, daß umgekehrt dieselbe mechanische Arbeit auch (bei Vermeidung aller Verluste) wieder dieselbe Wärmemenge erzeugt; so ist es von Wichtigkeit, den numerischen Werth der von der Wärmereinheit geleisteten Arbeit, die man dann das Arbeits-äquivalent oder das mechanische Äquivalent der Wärme nennt, genau kennen zu lernen. Man hat dasselbe berechnet aus der Wirkung des Wasserdampfes oder eines Gases, dessen Temperatur um eine gewisse Anzahl von Graden erhöht worden oder zu welchem eine bestimmte Wärmemenge hinzuge treten ist. Séguin bestimmte das mechanische Äquivalent der Wärme dadurch, daß er Wasserdampf von 180° sich bis auf 80° abkühlen ließ, und die mechanische Wirkung berechnete, welche hervortritt, indem bei der Abkühlung die freie Wärme als Ausdehnungswärme theilweise latent wird.

Joule ****) verglich die durch Reibung eines Rades in einer Flüssigkeit erregte Wärme mit dem Aufwande an Kraft, die zur Drehung des Rades verwendet wurde. Derselbe benutzte verschiedene Flüssigkeiten: Walrathöl, Wasser, Quecksilber. Die gefundenen numerischen Werthe wichen bezüglich der angewandten Flüssigkeiten von einander ab, jedoch nicht sehr beträchtlich. Beim Wasser ergab sich das mechanische Äquivalent = 423,54 Kilogramm-Meter, so daß also durch die Wärme, welche erforderlich ist, um 1 Kilogr. Wasser um 1° C. zu erwärmen, 423,54 Kilogr. 1 Meter hochgehoben werden können. Aus der beim Zusammendrücken der Luft frei werdenden Wärme bestimmte er dasselbe zu 438 Kilogr.-Meter. Endlich ließ er den Strom einer magnetelektrischen Maschine durch einen Draht gehen, dessen dadurch erregte Wärme sich einer gegebenen Quantität Wasser theilte. Nun ergab sich aus der auf die Drehung der Maschine verwendeten Arbeit, daß durch 460 Kilogr.-Meter so viel Wärme erzeugt wird, als nöthig ist, um 1 Kilogr. Wasser um 1° zu erhöhen. Diese 460 Kilogr.-Meter sind also das mechanische Äquivalent der Wärmereinheit. — Auf Grund dieser Ermittlungen nimmt man wohl das mechanische Äquivalent der Wärmereinheit zu ungefähr 400 Kilogr.-Meter an.

Die Wärme verrichtet eine bestimmte Arbeit, wenn ein fester Körper schmilzt oder wenn eine tropfbare Flüssigkeit in Dampf übergeht. Hier ist die Anziehung der kleinsten Wassentheilchen aufzuheben, was eben durch die Wärme geschieht; und zwar ist dies die einzige Arbeit, welche sie zu verrichten hat, falls die Verdampfung im Vacuo geschieht. Eine andere Arbeit hat sie zu leisten, wenn sich der Dampf oder ein Gas unter einem bestimmten äußeren Druck ausdehnt, der zu überwinden ist. Wo nun durch die Wärme eine mechanische Arbeit geleistet wird, geht ein Theil dieser Arbeit proportionaler Theil der Wärme verloren, indem er, wie man gewöhnlich sagt, latent wird. Es findet hier eine gegenseitige Umsehung

*) Ueber die Wärme und Elasticität der Gase und Dämpfe. Mannh. 1844.

**) Gas eine Zusammenstellung seiner Arbeiten in d. Compt. rend. T. XXVIII. p. 132.

***). Vergl. Compt. rend. T. XXVII. p. 385.

****). Vergl. auch Helmholtz: Ueber die Erhaltung der Kraft. Berl. 1847.

****). Phil. Mag. Ser. III. Vol. XXXI. p. 173. Compt. rend. XXV. Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 479, 484.

oder Verwandlung statt, so daß, wenn Wärme verschwindet, dafür mechanische Arbeit auftritt, oder wenn mechanische Arbeit verzehrt wird, dafür Wärme erscheint. Man pflegt zu sagen, es läßt sich Arbeit in Wärme und umgekehrt Wärme in Arbeit verwandeln, wobei stets die Größe der einen der der anderen proportional ist.

In neuerer Zeit hat dieser Gegenstand (die sog. mechanische Theorie der Wärme) weitere Bearbeitung erfahren, namentlich durch Clausius *), Macquorn Rankine **), und auch durch Thomson u. A.

Man kann mit Clausius die von der Wärme geleistete Arbeit in die innere und äußere Arbeit theilen, je nach den Kräften, welche hier zu überwinden sind. Diese Kräfte lassen sich nämlich in zwei Klassen bringen; zu der einen gehören diejenigen, welche die Atome der Körper untereinander ausüben, und sie begründen die innere Arbeit der Wärme; zur anderen Klasse gehören die fremden Einflüsse, unter denen der Körper steht, und sie bedingen die äußere Arbeit der Wärme. — Rückfichtlich der inneren Arbeit gilt der von Clausius festgestellte Satz, daß, wenn ein Körper, von irgend einem Anfangszustande ausgehend, eine Reihe von Veränderungen durchmacht, und schließlich wieder in seinen ursprünglichen Zustand zurückkehrt, dann die dabei vorkommenden inneren Arbeitsgrößen sich gerade gegenseitig aufheben müssen. Zu demselben Resultate gelangte auch Rankine, der es folgendermaßen ausspricht. Wenn eine Gewichtseinheit von irgend einer Substanz eine Reihe von Temperatur- und Volumsveränderungen durchläuft und am Ende zu ihrem ursprünglichen Zustande zurückkehrt, so muß die algebraische Summe der lebendigen Kraft, die entweder in Form von Expansion und Compression oder in der von Wärme aufgewandt und erzeugt worden ist, Null sein. — Die innere Arbeit ist durch den Anfangs- und Endzustand vollständig bestimmt, so daß man den Weg, auf welchem der Körper aus dem einen Zustand in den anderen gelangte, nicht zu kennen braucht. Denkt man sich den Körper nacheinander auf verschiedenen Wegen von dem einen zum anderen Zustand hin-, und immer auf einem und demselben Wege wieder zu dem ersten Zustande zurückgeführt, so müssen die auf den verschiedenen Hinwegen gethanenen inneren Arbeitsgrößen sich alle mit denselben auf dem Rückweg gethanenen aufheben, und somit auch untereinander gleich sein. Die äußere Arbeit kann dagegen bei demselben Anfangs- und Endzustande ebenso verschieden sein, wie die äußeren Einflüsse, unter denen der Körper während der Zustandsänderungen stehen kann.

Reflectirt man auf die bei einer Zustandsänderung gethanene innere und äußere Arbeit gleichzeitig, so können sich beide, wenn sie von entgegengesetzten Vorzeichen sind, theilweise gegenseitig aufheben, und dem Reste muß dann die gleichzeitig eintretende Aenderung der Wärmemenge äquivalent sein. In Rücksicht der Rechnung kann man aber für jede von beiden einzeln eine äquivalente Wärmeänderung annehmen. Ist nun Q die ganze Wärmemenge, welche man einem Körper, während er auf einem bestimmten Wege aus einem Zustande in einen anderen übergeht, mittheilen muß (wobei eine entzogene Wärmemenge als mitgetheilte negative Wärmemenge gerechnet wird), so kann man dieselbe in drei Theile zer-

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIX. S. 368; Bd. XCIII. S. 481.

**) Phil. Transact. Vol. XX. pt. I. Pogg. Ann. Bd. LXXXI. S. 172.

legen, von denen der erste die Vermehrung der wirklich in dem Körper vorhandenen Wärme, der zweite die zu innerer und der dritte die zu äußerer Arbeit verbrauchte Wärme begreift. Der erste Theil ist, wie der zweite, unabhängig von der Art, wie die Veränderung stattgefunden hat, so daß sich beide Theile zusammen durch eine Function U darstellen lassen, die durch den Anfangs- und Endzustand des Körpers vollständig bestimmt ist. Dagegen kann der dritte Theil, das Aequivalent der äußeren Arbeit, wie diese selbst, erst dann bestimmt werden, wenn der ganze Weg der Veränderungen gegeben ist. Bezeichnet nun W die äußere Arbeit, und A das Wärmeäquivalent für die Einheit der Arbeit, so hat man für den Werth des dritten Theils $A \cdot W$, und als Ausdruck des ersten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie ergibt sich die Gleichung $Q = U + A \cdot W$. (1)

Ist die Reihe der Veränderungen von der Art, daß der Körper durch dieselben wieder schließlich in seinen Anfangszustand zurückkehrt, so hat man für diesen Fall, den Clausius durch den Namen eines Kreisprocesses bezeichnet, $U = 0$, also $Q = A \cdot W$. (1)

Um die Gleichung (1) in speciellere Formen zu bringen, in welchen sie bestimmte Eigenschaften der Körper ausdrückt, wählt Clausius die Annahme, daß die einzige wirkjame fremde Kraft, welche bei der Bestimmung der Arbeit vorzugsweise Berücksichtigung verdient, ein äußerer Druck sei, und daß dieser, wie es bei tropfbar flüssigen und luftförmigen Körpern, wenn keine anderen fremden Kräfte mitwirken, immer der Fall ist, und bei festen Körpern wenigstens der Fall sein kann, an allen Punkten der Oberfläche gleich stark, und überall normal gegen die Oberfläche gerichtet ist. Dann braucht man zur Bestimmung der äußeren Arbeit nicht die Gestaltveränderungen des Körpers, und seine Ausdehnung und Zusammenziehung nach einzelnen verschiedenen Richtungen, sondern nur seine Volumveränderung im Ganzen zu betrachten. Ueberdies wird noch angenommen, daß der Druck sich immer nur ganz allmählig ändert, so daß er in jedem Augenblicke von der ihm entgegenwirkenden Ausdehnungskraft der Wärme nur so wenig verschieden ist, daß beide in der Rechnung als gleich zu setzen sind. Hiernach bildet der Druck eine Eigenschaft des Körpers selbst, die aus seinen übrigen Eigenschaften bestimmt werden kann. Unter diesen Umständen läßt sich der Druck, und überhaupt der Zustand des Körpers als bestimmt annehmen, falls seine Temperatur t und sein Volumen v gegeben sind. Diese beiden Größen wähle man als die unabhängigen Veränderlichen, und denke sich den Druck p und die in der Gleichung (1) vorkommende Größe U als Functionen von ihnen dargestellt. t und v mögen nun um dt und dv wachsen. Wächst t ohne Volumveränderung, so kann dies keine äußere Arbeit zur Folge haben; dagegen wird, wenn das Volumen um dv wächst, die Arbeit $p dv$ gethan. Die während des gleichzeitigen Wachstums von t und v gethanene Arbeit ist nun gleichfalls $dW = p dv$, was, auf die obige Gleichung (1) angewendet, giebt $dQ = dU + A \cdot p dv$. (2)

Um diese Gleichung zu integrieren, muß eine Relation zwischen t und v gegeben sein, mittelst deren sich t als Function von v , und auch p als Function von v allein darstellen läßt. Diese Relation giebt dann den oben erwähnten Weg der Veränderungen an. Giebt man dieser Gleichung die Form $\frac{dQ}{dt} dt + \frac{dQ}{dv} dv$

$= \frac{dU}{dt} dt + \left(\frac{dU}{dv} + A \cdot p \right) dv$, so läßt sie sich in folgende zwei Gleichungen zerlegen, nämlich in $\frac{dQ}{dt} = \frac{dU}{dt}$ und $\frac{dQ}{dv} = \frac{dU}{dv} + A \cdot p$.

Man differentiire nun die erste dieser beiden Gleichungen nach v und die zweite nach t , wobei für U der Satz gilt, daß, wenn eine Function von zwei unabhängigen Veränderlichen nach einander nach beiden differentiirt wird, die Reihenfolge, in welcher dies geschieht, gleichgültig ist. Dieser Satz findet aber keine Anwendung auf die Größe Q , so daß bei ihr eine solche Bezeichnungsart zu wählen ist, welche die Reihenfolge der Differentiationen zu erkennen giebt, wie in den folgenden Gleichungen der Fall ist: $\frac{d}{dv} \left(\frac{dQ}{dt} \right) = \frac{d^2 U}{dt dv}$, $\frac{d}{dt} \left(\frac{dQ}{dv} \right) = \frac{d^2 U}{dt dv} + A \cdot \frac{dp}{dt}$.

Subtrahirt man diese beiden Gleichungen von einander, so erhält man eine von U befreite Gleichung

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dQ}{dv} \right) - \frac{d}{dv} \left(\frac{dQ}{dt} \right) = A \cdot \frac{dp}{dt}. \quad (3)$$

Von den Gleichungen (2) und (3) hat nun Clausius eine speciellere Anwendung auf die permanenten Gase und die Dämpfe im Maximum der Dichtigkeit gemacht *).

Durch den Carnot'schen Satz wird mit Rücksicht auf den vorigen Satz (von der Aequivalenz von Wärme und Arbeit) eine Beziehung zwischen zwei Arten von Verwandlungen ausgedrückt, und zwar der Verwandlung von Wärme in Arbeit und dem Uebergange von Wärme aus einem wärmeren in einen kälteren Körper. Diesen Uebergang kann man als eine Verwandlung von Wärme höherer Temperatur in solche von niederer Temperatur betrachten. Nach Clausius läßt sich nun der Carnot'sche Satz in seiner bisherigen Form etwa folgendermaßen aussprechen. In allen Fällen, wo eine Wärmemenge in Arbeit verwandelt wird, und der diese Verwandlung vermittelnde Körper sich schließlich wieder in seinem Anfangszustande befindet, muß zugleich eine andere Wärmemenge aus einem wärmeren in einen kälteren Körper übergehen, und die Größe der letzteren Wärmemenge im Verhältniß zur ersteren ist nur von den Temperaturen der beiden Körper, zwischen welchen sie übergeht, und nicht von der Art des vermittelnden Körpers abhängig.

In dem einfachen Proceß, der bei der Ableitung dieses Satzes zu Grunde gelegt ist, kommen nur zwei Körper vor, welche Wärme verlieren oder empfangen; dabei ist stillschweigend vorausgesetzt, daß die in Arbeit verwandelte Wärme aus einem der beiden Körper herrühre, zwischen denen auch der Wärmeübergang stattfindet. Da hier der Einfluß, welchen eine Aenderung der Temperatur der in Arbeit verwandelten Wärme ausübt, nicht klar hervortritt, so ist der Satz in der gegebenen Form unvollständig. Clausius leitete nun eine allgemeinere Form

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIX. S. 368.

dieses Satzes aus dem Grundsatz ab, „daß nie Wärme aus einem kälteren Körper in einen wärmeren übergehen könne, wenn nicht gleichzeitig eine andere damit zusammenhängende Aenderung eintrete“; — ein Satz, der bestätigt werde durch Alles, was wir über den Wärmeaustausch zwischen Körpern von verschiedener Temperatur wissen, indem die Wärme überall das Bestreben zeige, bestehende Temperaturdifferenzen auszugleichen, und daher umgekehrt aus dem wärmeren Körper in den kälteren überzugehen.

Der zweite Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie, welchen Clausius den Satz von der Aequivalenz der Verwandlungen nennt, wird folgendermaßen ausgesprochen. „Nennt man zwei Verwandlungen, welche sich, ohne dazu eine sonstige bleibende Veränderung zu erfordern, gegenseitig ersetzen können, aequivalent, so hat die Entstehung der Wärmemenge Q von der Temperatur t aus Arbeit den Aequivalenzwerth $\frac{Q}{T}$, und der Uebergang der Wärmemenge

Q von der Temperatur t_1 zur Temperatur t_2 den Aequivalenzwerth $Q \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$, worin T eine von der Art des Processes, durch welchen die Verwandlung geschieht, unabhängige Function der Temperatur t ist.“

Aus der Form $\frac{Q}{T_2} - \frac{Q}{T_1}$ ist ersichtlich, daß der Uebergang der Wärmemenge Q von der Temperatur t_1 zur Temperatur t_2 denselben Aequivalenzwerth hat, wie eine doppelte Verwandlung der ersten Art, nämlich die Verwandlung der Menge Q aus Wärme von der Temperatur t_1 in Arbeit und aus Arbeit in Wärme von der Temperatur t_2 .

Man hat nun hierdurch eine Regel, nach welcher man für jeden noch so complicirten Kreisproceß, in welchem beliebig viele Verwandlungen der beiden Arten vorkommen, den mathematischen Ausdruck ableiten kann, welcher den Gesamtwert der Verwandlungen darstellt. Bei allen in dem Kreisproceß vorkommenden Wärmereservoirs braucht man nur jede empfangene Wärmemenge im Ganzen als aus Arbeit entstanden, und jede abgegebene als in Arbeit verwandelt in Rechnung zu bringen. Nimmt man also an, daß die verschiedenen als Wärmereservoir dienenden Körper K_1, K_2, K_3, \dots mit den Temperaturen t_1, t_2, t_3, \dots während des Processes die Wärmemengen Q_1, Q_2, Q_3, \dots empfangen haben, wobei die abgegebenen Wärmemengen als empfangene negative Wärmemengen gerechnet werden, so wird der Gesamtwert N aller Verwandlungen dargestellt durch die

algebraische Summe $N = \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_3}{T_3} + \dots$ oder, wenn man die Summe durch das Zeichen Σ andeutet, $N = \Sigma \frac{Q}{T}$.

Sind die Temperaturen der betreffenden Körper nicht constant, sondern ändert einer der Körper seine Temperatur während des Processes so bedeutend, daß diese Aenderung Berücksichtigung erfordert, so ist für jedes aufgenommene Wärmeelement dQ die Temperatur zu nehmen, welche der Körper bei seiner Aufnahme gerade hat, wodurch dann eine Integration nöthig wird. Findet dieser Umstand

bei allen Körpern statt, so hat man statt der obigen Gleichung $N = \int \frac{dQ}{T}$,

wo man das Integral auf alle von den verschiedenen Körpern aufgenommene Wärmemengen zu beziehen hat. Bezüglich der weiteren Entwicklung dieses Gegenstandes müssen wir hier auf den angezeigten Aufsatz von Clausius verweisen. —

Die Wärmemenge, welche ein elastisches Medium, wie der Wasserdampf, beim Eintritt in eine Maschine besitzt, verschwindet zum Theil bei ihrem Durchgange durch die Maschine; die geleistete mechanische Arbeit ist dann stets proportional der verlorenen Wärmemenge. Bei der Dampfmaschine insbesondere ist die mechanische Arbeit proportional dem Unterschiede zwischen der Wärmemenge, die der Dampf bei seinem Eintritt in die Maschine hatte, und derjenigen Wärmemenge, welche er bei seinem Austritt oder im Augenblick seiner Condensation noch besitzt. Hiernach muß man nun, um von einer gegebenen Wärmemenge das Maximum des mechanischen Effects zu erzielen, die Einrichtung so treffen, daß jener Wärmeverlust der möglich größte werde, oder daß die Spannkraft, welche der abgespannte Dampf bei seinem Eintritt in den Condensator noch besitzt, die möglich schwächste sei. Doch ist die Wärmemenge, welche in der Dampfmaschine zur mechanischen Arbeit benutzt wird, stets nur ein sehr kleiner Theil derjenigen, die man dem Kessel mittheilen mußte. Nach Regnault's Versuchen beträgt bei einer Dampfmaschine mit Expansion (ohne Condensation), wo der Dampf unter einem Drucke von fünf Atmosphären eintritt und unter dem Druck von einer Atmosphäre austritt, die Wärmemenge, welche der Dampf bei seinem Eintritt besitzt, 653 Einheiten, und diejenige, welche er bei seinem Austritt noch hat, 637 Einheiten. Demnach ist die zur mechanischen Arbeit benutzte Wärme $653 - 637 = 16$ Einheiten, nämlich $\frac{1}{40}$ der dem Kessel gegebenen Wärmemenge. Hätte man eine Dampfmaschine mit Condensation, welche gesättigten Dampf von fünf Atmosphären erhielt und bei welcher der Condensator fortdauernd eine Spannkraft von 55 Millimeter (Quecksilber) behauptete, so würde die Wärmemenge des Dampfes bei seinem Eintritt 653 Einheiten betragen und derselbe bei seiner Condensation in dem Augenblick, wo seine mechanische Wirkung aufhört, noch 619 Einheiten enthalten. Die zur mechanischen Arbeit benutzte Wärme wäre also $= 34$ Einheiten oder etwas mehr als $\frac{1}{20}$ der dem Kessel mitgetheilten Wärme.

Rankine hat gezeigt, daß man, vermöge der Natur der Dampfmaschine, nicht erwarten dürfe, mehr als etwa ein Sechstel der zur Verdampfung gebrauchten Wärme in Rugkraft zu verwandeln, da das Uebrige in den Condensator oder in die Atmosphäre entweicht. Der wirkliche Betrag dieser Umwandlung ist aber in vielen der gewöhnlichen Maschinen weniger als ein Vierundzwanzigstel.

Es läßt sich ein größerer Theil der gegebenen Wärme in mechanische Arbeit umwandeln, wenn man den Dampf bei seinem Eintritt in die Maschine überhitzt. Man hat auch daran gedacht, dem Wasserdampfe in der Maschine eine geringere Expansion zu gestatten und denselben durch Einspritzung einer sehr flüchtigen Flüssigkeit, wie Aether oder Chloroform, zu verdichten. Die dem Wasserdampfe zugehörige Wärme, von der man nur einen sehr geringen Theil hätte in mechanische Arbeit umwandeln können, geht dann in die flüchtigere Flüssigkeit über und verwandelt sie in Dampf von hoher Spannkraft, den man in eine zweite Maschine

leitet, wo er sich bis zu der Spannkraft ausdehnt, bei welcher ihn das Einspritzwasser in den Condensator führen kann. Bei diesem Gange wird ein Theil der Wärme in mechanische Arbeit umgewandelt, welcher einer Rechnung zufolge, die sich auf die numerischen Data der Regnault'schen Versuche stützt, viel größer ist als der Theil, den man durch eine größere Ausdehnung des Wasserdampfes in der ersten Maschine hätte erhalten können.

In den sogenannten Luftmaschinen wird anstatt des Wasserdampfes die Spannkraft erwärmter Luft als bewegende Kraft benutzt. Man hat diesen Maschinen wenigstens einen Vorzug vor den Dampfmaschinen zuerkannt, nämlich in ökonomischer Beziehung, falls sie wie die Ericsson'sche Lufterpansionsmaschine eingerichtet sind. Die von einer solchen Maschine bei jedem Kolbenhube bewirkte Arbeit würde dem Unterschiede der Wärmemengen, welche die eintretende und austretende Luft besitzen, d. h. dem Wärmeverlust, welchen die Luft beim Durchstreichen der Maschine erleidet, proportional sein, wenn nicht die Wärme, welche die austretende Luft noch besitzt, nachdem sie ihre Wirkung geübt, auf eine zweckmäßige Weise zur Verwendung käme. Während bei der Dampfmaschine ein großer Theil der Wärme als mechanische Arbeit verloren geht, insofern der Dampf unmittelbar aus dem Cylinder in den kälteren Condensator oder in die atmosphärische Luft übergeht, erwärmt die Luft bei der Ericsson'schen Maschine ein System hinter einander liegender feiner Drahtnetze und tritt somit erst dann, nachdem sie einen großen Theil ihrer überschüssigen Wärme abgegeben hat, zur atmosphärischen Luft über. Zugleich hat dieses System von Drahtnetzen, welches Regenerator heißt, den Zweck, die in die Maschine neu eintretende atmosphärische Luft durch eine Reihe allmäliger Wärmeübergänge auf die Temperatur des Cylinders zu bringen und diejenige Wärmemenge wieder aufzunehmen, welche die austretende Luft kurz zuvor an den Regenerator abgegeben hatte, was geschehen wird, wenn die Maschine in einen gleichmäßigen Beharrungszustand gekommen ist, wo dann die Temperatur des Regenerators in allen seinen Theilen nach jedem Kolbenhube wieder dieselbe sein wird. Die Einrichtung ist so getroffen, daß die in die Maschine eintretende Luft in einer Richtung, die der austretenden entgegengesetzt ist, durch den Regenerator strömt. — Auf diese Weise kann man bei der Lufterpansionsmaschine durch allmälige Erwärmung und Erkältung der atmosphärischen Luft jeden Verlust an lebendiger Kraft, welcher durch unmittelbare Berührung von Körpern verschiedener Temperatur (wie bei der Dampfmaschine) plötzlich herbeigeführt wird, vermeiden oder doch möglichst verringern *).

Clausius und Rankine sprachen fast gleichzeitig den Satz aus, „daß gesättigter Wasserdampf, welcher sich in einem für die Wärme undurchdringlichen Gefäße befindet, wenn er zusammengedrückt wird, nicht gesättigt bleibt, sondern ohne sich niederzuschlagen noch eine gewisse Wärmemenge abgeben kann, und daß er umgekehrt, wenn er sich unter denselben Verhältnissen ausdehnt, eine gewisse Wärmemenge von Außen empfangen muß, wenn er sich nicht theilweise niederschlagen soll“. — W. Thomson machte nun mit Rücksicht auf diesen Satz darauf aufmerksam, daß man die Hand ohne Gefahr in einem aus der Sicherheitsklappe eines Hochdruck-Kessels hervorkommenden Dampfstrom stecken könne, woraus er folgerte, daß der Dampfstrom kein tropfbar flüssiges Wasser mit sich führe; auch

*) Vergl. hierüber Roosen in Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 437 ff.

soll nach ihm diese Thatsache im Widerspruche stehen mit jenem Satze, falls sich nicht eine Wärmequelle nachweisen lasse, aus welcher der Dampf beim Ausströmen die Wärme nehme, welche erfordert wird, um ihn im dampfförmigen Zustande zu erhalten. Als diese Wärmequelle betrachtet derselbe die beim Ausströmen des Dampfes stattfindende Reibung. (Clausius *) zeigte jedoch, gestützt auf die mechanische Theorie der Wärme, daß zur Erklärung der betreffenden Thatsache die Reibung nicht in Anspruch zu nehmen sei, daß durch diese vielmehr ein Wärmeverlust bedingt werde.

Wir weisen hier beiläufig noch auf eine Betrachtung hin, die Clausius **) über den theoretischen Zusammenhang zweier empirisch aufgestellter Gesetze über die Spannung und latente Wärme verschiedener Dämpfe angestellt hat. — Nach dem Dalton'schen Gesetze sind bekanntlich bei irgend zwei Flüssigkeiten alle Differenzen zwischen entsprechenden Temperaturen gleich, falls man die zu gleichen Spannungen gehörigen Temperaturen entsprechende Temperaturen nennt. Wäre dieses Gesetz vollkommen richtig, so könnte man leicht vermittelt einer Tafel für die Spannkraft des Wasserdampfes bei verschiedenen Temperaturen die Spannkraft des Dampfes irgend einer anderen Flüssigkeit für eine bestimmte Temperatur angeben, wenn man nur den Siedepunkt dieser Flüssigkeit kenne. Allein dieses Gesetz zeigt nur bei Flüssigkeiten, deren Siedepunkte nicht weit von einander entfernt liegen, eine merkliche Uebereinstimmung. Faraday sprach sich später dahin aus, daß die Zunahme der Elasticität des Dampfes (mit der Wärme) sich wahrscheinlich direct wie die Flüchtigkeit der betreffenden Substanz verhalte, und daß bei fernerer und genauerer Beobachtung der Kräfte ein allgemeines Gesetz abgeleitet werden möge, mit Hilfe dessen aus einer einzigen Beobachtung der Spannkraft irgend eines Dampfes in Berührung mit seiner Flüssigkeit seine Elasticität für jede andere Temperatur erhalten werden kann.

Dieser Ausspruch Faraday's erhielt eine bestimmtere Form in einer von Grosshans ***) entwickelten Gleichung, welche nach Clausius das folgende Gesetz implicite enthält: Wenn man alle Temperaturen von -273° C. ab (also von derjenigen Temperatur an, welche durch den umgekehrten Werth des Ausdehnungscoefficienten bestimmt wird) zählt, so sind für irgend zwei Flüssigkeiten alle entsprechenden Temperaturen proportional.

Nachdem nun Clausius gegen die Ableitung der eben erwähnten Gleichung einige Bedenken erhoben, reflectirt er selbst auf das Gesetz, daß die latente Wärme einer Volumeneinheit des beim Siedepunkte entwickelten Dampfes bei allen Flüssigkeiten gleich sei. Gilt nun dieser Satz, den man annäherungsweise als richtig annehmen kann, für die Siedepunkte aller Flüssigkeiten, so muß er auch für jedes andere System entsprechender Temperaturen gelten, da die Siedepunkte nur von dem zufälligen Druck der Atmosphäre abhängen. Hiernach läßt er sich dahin erweitern, daß die nach dem Volumen des Dampfes gerechnete latente Wärme eine für alle Flüssigkeiten gleiche Function der Spannung sei. Bezeichnet nun r die latente Wärme der Gewichtseinheit eines Dampfes bei der Temperatur t , bei welcher das Volumen der Gewichtseinheit $= s$ ist, so daß die latente

*) Vergl. Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 263.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 274.

***) Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 112.

Wärme einer Volumeinheit durch $\frac{r}{s}$ ausgedrückt wird, und ist p die dazu

gehörige Spannung; so läßt sich das Gesetz durch die Gleichung $\frac{r}{s} = f(p)$ aus-

drücken, worin f das Symbol einer für alle Flüssigkeiten gleichen Function ist. Clausius findet nun weiter $p = \varphi(c \cdot T)$, wo c eine willkürliche Constante ist, welche für jede Flüssigkeit besonders bestimmt werden muß, T die von -273°C. abgezählte Temperatur des Dampfes, und φ das Symbol einer anderen für alle Flüssigkeiten gleichen Function ist. Diese Gleichung ist nun der mathematische Ausdruck des obigen Gesetzes über die Spannkraft. Man braucht also nur, um dieselbe Function, welche für eine Flüssigkeit die Spannkraft aus der Temperatur bestimmt, auch auf irgend eine andere Flüssigkeit anzuwenden, die Temperatur mit einer anderen Constante zu multipliciren, welche man sogleich bestimmen kann, wenn man für eine einzige Temperatur die Spannung kennt. Die beiden durch die Gleichungen $\frac{r}{s} = f(p)$ und $p = \varphi(c \cdot T)$ dargestellten Gesetze hängen

hiernach so zusammen, daß, wenn eines derselben vollkommen richtig ist, es nothwendig auch das andere sein muß. Doch ist es wahrscheinlich, daß beide Gesetze der Wirklichkeit nur angenähert entsprechen.

Man hat auch versucht, den Druck, welchen Gase auf die umschließenden Wände eines Gefäßes ausüben, aus dem Stöße der Gasteilchen abzuleiten, die man sich dabei in einer fortschreitenden geradlinigen Bewegung begriffen denkt. Untersuchungen hierüber liegen von Krönig, Joule und Clausius vor *). Krönig und Joule gehen im Wesentlichen von demselben Grundgedanken in Bezug auf den Bewegungszustand der Gase und den Druck aus, welchen die bewegten Gasmoleculé ausüben. Der Druck, die lebendige Kraft und die absolute Temperatur eines Gasmoleculs sind proportional, und der absolute Nullpunkt soll nach Joule 273°C. unter dem Gefrierpunkte liegen. Der letztere berechnete die Geschwindigkeiten, welche den Gasmoleculen zukommen müssen, um den bestimmten Temperaturen entsprechenden Druck auf die Wände eines Gefäßes auszuüben, und verglich damit die Räume, welche ein Körper durchfallen muß, um diese Geschwindigkeiten anzunehmen **). Für den Normaldruck p auf die Flächeneinheit der Gefäßwand erhielten Krönig und Joule den Ausdruck $p = \frac{n m u^2}{3 v}$,

wo n die Anzahl der im Volumen v enthaltenen Gasmoleculé, m die Masse und u die Geschwindigkeit eines Moleculs bedeutet. Zu demselben Ausdruck gelangte auch Clausius ***), der diesen Gegenstand allgemeiner und zugleich auch specieller behandelte, unter der Voraussetzung, daß Bewegungen der Gasmoleculé nach allen denkbaren Richtungen stattfinden.

In Rücksicht des eben aufgestellten Ausdruckes, der nur dem vollkommenen

*) Jahresber. von Ropp u. für 1856. S. 90, für 1857. S. 33.

**) Phil. Mag. [4] XIV. p. 211. Ann. de Chim. et Phys. 3 Sér. T. L. p. 381. Archiv. de scien. phys. et natur. Genève. T. XXXVI. p. 349.

***) Pogg. Ann. Bd. C. S. 353.

Gaszustande gilt, ist angenommen, daß der von den Gasmoleculen wirklich eingenommene Raum gegen den gaserfüllten Raum überhaupt verschwindend klein sei, ferner, daß die Zeit des Stoßes eines Gasmoleculs gegen die Wand oder ein anderes Molecül verschwindend klein sei gegen die Zeit zwischen zwei Stößen, daß der Einfluß der Molecularkräfte verschwindend sei, nämlich so, daß die Kraft, mit welcher die sämtlichen Molecüle in ihren mittleren Entfernungen sich noch gegenseitig anziehen, gegen die aus der Bewegung entspringende Expansivkraft verschwinde, und endlich, weil die Molecüle sich doch nicht immer in ihren mittleren Entfernungen befinden, daß die Theile des von einem Molecül beschriebenen Weges, auf welchen jene Molecularkräfte von Einfluß sind, gegen die Theile, auf welchen jene Kräfte als unwirksam betrachtet werden können, verschwinden.

Der obigen Formel läßt sich auch die Gestalt $\frac{3}{2} p v = \frac{n m u^2}{2}$ geben. Da

nun nach dem Mariotte'schen und Gay-Lussac'schen Gesetze $p \cdot v = T \cdot \text{const.}$ ist, wo T die absolute Temperatur bezeichnet, so erhellt die Proportionalität zwischen der absoluten Temperatur und der lebendigen Kraft der Gasmoleculé, nämlich dem halben Product aus der Masse und dem Quadrate der Geschwindigkeit. — Die Geschwindigkeit u der fortschreitenden Bewegung der Gasmoleculé läßt sich aus dem Druck, dem Volumen und Gewicht eines Gases berechnen. Das Gewicht der Gasmasse ist $q = n m g$, falls g die Beschleunigung der Schwere bezeichnet.

Setzt man nun $\frac{q}{g} = n m$ in obige Gleichung, so folgt $u^2 = \frac{3 g p v}{q}$. Man erhielt aus dieser Formel bezüglich des Gefrierpunktes für Sauerstoffgas 461^m, für Wasserstoffgas 1844^{mm} und für Stickstoffgas 492^m.

Berechnet man die lebendige Kraft der fortschreitenden Bewegung der Gasmoleculé aus der bekannten Spannkraft der Gase bei gegebener Temperatur, so findet sich nach Clausius, daß dieselbe nicht hinreicht, den ganzen in einem Gase enthaltenen Vorrath an Wärme, wenn man ihm aus der empirisch bestimmten specifischen Wärme ableitet, zu erklären. Bezeichnet H die totale Wärmemenge, K die lebendige Kraft der fortschreitenden Bewegung der Gasmoleculé, c die wahre specifische Wärme, d. h. die specifische Wärme bei constantem Volumen und c' die specifische Wärme eines Gases bei constantem Druck, so gilt die Gleichung $\frac{K}{H} = \frac{3}{2} \left(\frac{c' - c}{c} \right)$. Da die Differenz $c' - c$ constant ist, so stellt die

lebendige Kraft der fortschreitenden Bewegung nicht den ganzen in einem Gase enthaltenen Wärmevorrath dar. Für die einfachen und diejenigen zusammengesetzten Gase, bei welchen während der Verbindung der Bestandtheile keine Volumverminderung eintritt, ist $\frac{c'}{c} = 1,421$ und $\frac{K}{H} = 0,6315$. Für solche zusammen-

gesetzte Gase, bei deren Entstehung aus ihren Bestandtheilen eine Volumverminderung stattfindet, ist die lebendige Kraft der fortschreitenden Bewegung der Gasmoleculé einem noch geringeren Antheile des ganzen Wärmevorrathes äquivalent. Der Quotient $\frac{K}{H}$ ist aber der nach der Volumeinheit berechneten wahren specifischen Wärme der Gase umgekehrt proportional.

Die wahre specif. Wärme eines vollkommenen Gases ist diejenige bei constantem Volumen; denn in diesem Falle, wo die innere Arbeit Null ist, wird auch keine äußere Arbeit geleistet. Der Satz aber, daß die wahre specif. Wärme constant ist, erscheint gleichbedeutend mit dem, daß die ganze in einem Gase vorhandene lebendige Kraft zu der lebendigen Kraft der fortschreitenden Bewegung, welche als Maß der Temperatur dient, in einem constanten Verhältniß steht. — Clausius nimmt nämlich, in Uebereinstimmung mit anderen, noch Vibrationen der Atome an, welche die Molecüle, die sich als Ganze bewegen, bilden, wobei auch jedes Atom noch mit einer Quantität eines feineren Stoffes versehen sein möge, der sich, ohne sich von dem Atom zu trennen, in dessen Nähe beweglich sein könne. Nun steht aber bei einem bestimmten Gase die Summe der fortschreitenden Bewegung der Molecüle zu der Summe der Bewegungen der Bestandtheile in einem constanten Verhältniß, das sich, wenn es gestört ist, immer von selbst wieder herzustellen sucht, entweder indem die Bewegung der Bestandtheile bei dem Aufeinandertreffen von Moleculargruppen durch Uebertragung von lebendiger Kraft zur Vermehrung der fortschreitenden Bewegung beiträgt, oder umgekehrt. Hat sich aber dieses constante Verhältniß wieder hergestellt, so kann man durchschnittlich annehmen, daß die Molecüle in Bezug auf ihre fortschreitende Bewegung den gewöhnlichen Elasticitätsgesetzen folgen, so daß die fortschreitende Bewegung beim Stöße der Theilchen gegen die Wände oder gegen einander im Ganzen weder an lebendiger Kraft gewinnt, noch verliert. Neben der fortschreitenden Bewegung ist aber auch eine rotirende Bewegung der Molecüle anzunehmen, da dieselbe aus dem excentrischen Stöße gegen einander fliegender Molecüle hervorgehen muß.

Gleiche Gasvolumina enthalten bei gleichem Druck und gleicher Temperatur gleiche lebendige Kraft der fortschreitenden Bewegung; und nimmt man für die einfachen Gase an, daß gleiche Volumina eine gleiche Anzahl Molecüle enthalten, so ist für diese Gase auch die lebendige Kraft der fortschreitenden Bewegung gleich groß. Insofern zusammengesetzte Gase, welche sich im Verhältniß 1:1 oder 1:2 der Bestandtheile verbinden, in der Volumeinheit dieselbe Anzahl Molecüle enthalten, so muß auch bei ihnen die lebendige Kraft der fortschreitenden Bewegung der Molecüle gleich sein. Inzwischen stellen sich bezüglich dieses Gesetzes bei einer Vergleichung der einfachen Gase mit den zusammengesetzten Differenzen heraus. Verbinden sich z. B. zwei einfache Gase nach gleichem Volumen, so findet dabei keine Raumverminderung statt; und danach könnte ein Volumen nur halb so viel zusammengesetzte Molecüle enthalten, als vorher einfache. Doch glaubt Clausius unter der Voraussetzung, daß auch bei den einfachen Gasen die Kraft, welche die chemische Verbindung bewirkt, in der Art thätig sei, daß zwei oder auch mehrere Atome sich zu einem Molecül vereinigen, das bezeichnete Gesetz aufrecht erhalten zu können, so daß also den einzelnen Molecülen aller Gase rücksichtlich ihrer fortschreitenden Bewegung eine gleiche lebendige Kraft zukommen würde.

Wärmequellen. Unter den wichtigsten Wärmequellen für die Erde begegnen wir zunächst der Sonne, die ja bekanntlich mit dem Lichte auch zugleich Wärme giebt. Die Wärme-Wirkung der Sonnenstrahlen ist am intensivsten, wenn sie die Erde senkrecht treffen; bei ihrem Eintritt in die Atmosphäre der Erde erfahren sie aber eine Schwächung theils durch Reflexion, theils durch Absorption, und zwar um so mehr, je länger ihr Weg durch die Atmosphäre und je dichter die

letztere ist. Um die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen zu messen, gebrauchte de Saussure *) ein sogenanntes Heliothermometer, und Herschel **) eine Vorrichtung, die er Aktinometer (v. *ἄκτιν*, Strahl und *μετρέω*, ich messe) nannte. Dieses Aktinometer besteht im Wesentlichen aus einem sehr empfindlichen Thermometer mit großem cylindrischen Behälter und einer in willkürliche Theile getheilten Scala. Das cylindrische Gefäß aus farblosem Glase ist mit einer blauen Flüssigkeit (schwefelsauren Kupferoxyd-Ammoniak) angefüllt, in welche die Thermometerrohre mit ihrem unteren Ende taucht, und unten mit einer Schraube versehen, durch deren Herunterlassen die Flüssigkeit in der Thermometerrohre wieder herabsinkt. An dem oberen Ende der letzteren befindet sich gewöhnlich eine in eine feine Spitze ausgezogene Kugel, in welche die Luft dringen kann. Diese Spitze kann mit Wachs verschlossen werden. Die Beobachtung mit dem Aktinometer geschieht nun in der Weise, daß man dasselbe am Beobachtungsorte etwa 1 Minute im Schatten aufstellt, um die Temperatur der Umgebung anzunehmen; hierauf eben so lange den Sonnenstrahlen aussetzt, welche von der blauen Flüssigkeit aufgenommen dieselbe von innen erwärmen, und dann wieder 1 Minute in den Schatten bringt. Das arithmetische Mittel aus den Thermometerständen im Schatten wird vom Thermometerstande in der Sonne abgezogen; die Differenz ist das Maß für die Wirkung der Sonnenstrahlen in 1 Minute. Das Instrument läßt sich in einem inwendig geschwärzten, durch eine Spiegelglasplatte gegen den Luftzug geschützten Kasten befestigen, wo man dann bei der Beobachtung dafür Sorge zu tragen hat, daß die Sonnenstrahlen die Glasplatte senkrecht treffen.

Nach Beobachtungen von Forbes **), welche derselbe mit dem Aktinometer anstellte, beträgt die Intensität der Sonnenwärme an der Erdoberfläche $\frac{1}{3}$ von derjenigen, welche sie in einer Höhe von 6000 Fuß besitzt.

Zu demselben Behufe benutzte Pouillet ****) ein Instrument unter dem Namen „Pyrheliometer“. Dasselbe ist ein cylindrisches Gefäß aus dünnem Silberblech, das etwa 100 Gramm Wasser faßt und dessen obere, den Sonnenstrahlen ausgesetzende Fläche sorgfältig mit Rienruß geschwärzt ist. In der Mitte dieses Gefäßes befindet sich die Kugel eines Thermometers, dessen Röhre in ein Metallrohr hinabreicht, welches sich um seine Are drehen läßt, um dem Wasser im Gefäße vermöge der Bewegung eine gleichförmige Temperatur durch seine ganze Masse zu ertheilen. Wird nun die Flüssigkeit im Gefäße von den Sonnenstrahlen erwärmt, so verliert dasselbe zugleich Wärme an die Umgebung, — ein Einfluß, der berücksichtigt werden muß. Man stellt darum das Instrument im Schatten auf und beobachtet 4 Minuten am Thermometer die Erkaltung, welche das Wasser durch Ausstrahlung erfährt. Dann bringt man einen Schirm vor die berußte Fläche und richtet das Instrument so, daß die Sonnenstrahlen senkrecht auf diese Fläche fallen, sobald man den Schirm hinwegzieht. Die Einwirkung der Sonnenwärme

*) Reisen durch die Alpen. Th. IV. S. 109. §. 932.

**) L'Institut. 1834. N. 74. Pogg. Ann. Bd. XXXII. S. 661; Bd. XLI. S. 559. Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XCV. p. 207 — 214.

***) Phil. Trans. for 1842. p. 225.

****) Mémoire sur la chaleur solaire, sur les pouvoirs rayonnants et absorbants de l'air atmosphérique, et sur la température de l'espace. Par. 1838. Pogg. Ann. Bd. XLV. S. 25 u. 481.

läßt man 5 Minuten dauern, und bringt dann das Instrument wieder in den Schatten, um wieder die Erkaltung während des Verlaufes von 4 Minuten zu beobachten. Bezeichnet nun T die durch die Sonnenstrahlen bewirkte Temperaturerhöhung, t und t' die Temperaturabnahmen während des ersten und letzten Versuches (im Schatten), so hat man für die Temperaturerhöhung, welche die Sonnenstrahlen im Wasser hervorgebracht haben, $\delta = T + \frac{t + t'}{2}$.

Bouillet suchte nun auch für verschiedene Sonnenstände die Dicke der durchlaufenen Luftschicht zu berechnen, um hieraus die Werthe von δ zu ermitteln. Es fand sich, daß die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen zwar mit der Länge des durchlaufenen Weges abnimmt, aber in einem etwas weniger raschen Verhältniß als der letztere wächst. Die erhaltenen Resultate lassen sich nach demselben gut durch die Formel $\delta = a p^e$ darstellen, worin a eine constante, von dem Zustande der Atmosphäre unabhängige Größe ist, während sich p von einem Tage zum anderen ändert; e ist die Dicke der jedesmaligen von den Sonnenstrahlen durchlaufenen Luftschicht. Diese Formel giebt nämlich an, wie viel von einer gegebenen Wärmequantität durch ein homogenes Mittel (hier atmosphärische Luft) hindurchgeht.

Man denke sich das homogene Mittel in eine gewisse Anzahl n gleicher Schichten getheilt und setze die Intensität des einfallenden Wärmestrahles $= a$, den Verlust durch Absorption in jeder Schicht $= \frac{1}{n}$, dann ist der durch die erste Schicht gehende Theil $a - \frac{a}{n} = a \left(1 - \frac{1}{n}\right)$, und für die zweite, dritte, ... Schicht hat man $a \left(1 - \frac{1}{n}\right)^2$, $a \left(1 - \frac{1}{n}\right)^3$, $a \left(1 - \frac{1}{n}\right)^e$. Der letzte Ausdruck giebt die Quantität δ , welche aus der letzten Schicht hervortritt, also $\delta = a \left(1 - \frac{1}{n}\right)^e = a p^e$, falls man $1 - \frac{1}{n} = p$ setzt. Doch kann diese Formel nicht genau sein, weil die Absorption erfahrungsmäßig in den ersten Schichten am stärksten, und in den übrigen fast verschwindend klein ist.

Bezeichnet d den Durchmesser des Cylinders (am Pyrheliometer) in Centimetern, p das Gewicht des darin enthaltenen Wassers in Grammen, p' das Gewicht des Gefäßes und des in ihm befindlichen Theiles des Thermometers, nach seiner specifischen Wärme auf Wasser reducirt, so hat man für die der beobachteten Temperaturerhöhung δ entsprechende Wärmemenge $\delta (p + p')$, und da diese während 5 Minuten auf eine Fläche $= \frac{1}{4} \pi d^2$ fiel, so hat man in dieser Zeit für jede Flächeneinheit die Wärmemenge $\frac{4 (p + p')}{\pi d^2} \delta$, daher in 1 Minute

$$\frac{4 (p + p')}{5 \pi d^2} \delta.$$

Für das gebrauchte Pyrheliometer betrug die in 1 Minute auf einem Quadratcentimeter erhaltene Wärmemenge 0,2624 δ .

Die Dicke e der Atmosphäre bestimmte Bouillet nach der Formel

$\varepsilon = \sqrt{(h^2 + 2hr + r^2 \cos Z - r \cos Z)}$, wo r den mittleren Erddurchmesser, h die Höhe der Atmosphäre und Z die Zenithdistanz der Sonne bezeichnet. Die Zenithdistanz ließ sich aus der Formel $\cos Z = \sin \nu \sin d + \cos \nu \cos d \cos H$ berechnen, wo ν die Breite des Beobachtungsortes, d die Deklination der Sonne um Mittag und H den Stundenwinkel zur Zeit des Versuches bezeichnen.

Für die Constante a in der Formel $\delta = ap^2$ erhielt Pouillet aus einer Reihe von Beobachtungen den Werth $a = 60,72$. Hiernach hat man an der Grenze der Atmosphäre, wo $\varepsilon = 0$ ist, $\delta = a = 60,72$, und die erwärmende Kraft der Sonne wäre hier so groß, daß 1 Cubikcentimeter Wasser um $60,72$ erwärmt werden könnte, und dies wäre auch diejenige Erwärmung, welche man erhalten würde, wenn die Atmosphäre die ganze von der Sonne herrührende Wärmemenge ungeschwächt hindurchließe. Multiplicirt man diese Zahl mit der oben gefundenen $0,2624$, so erhält man $1,7633$ für die Wärmequantität, welche die Sonne unter den eben gemachten Voraussetzungen auf eine Fläche von 1 Quadratcentimeter geben würde. Aus den Beobachtungen folgte, daß nahe $0,4$ aller von der Sonne kommenden Wärmestrahlen von der Atmosphäre absorbiert werden. Für die gesammte Wärmemenge, welche auf die Erde kommt, erhält man, da für den Erddurchmesser R der Beleuchtungskreis $= \pi R^2$ ist, den Ausdruck $10,7633 \pi R^2$.

Denkt man sich diese Wärmemenge auf der Erdoberfläche gleichmäßig vertheilt, so empfängt jedes Quadratcentimeter $\frac{10,7633 \pi R^2}{4 \pi R^2} = 0,4408$ in jeder Mi-

nute, mithin im ganzen Jahre 231675 Einheiten. Diese Wärmequantität würde eine über der Erdoberfläche verbreitete Eisschicht von $30,89$ Meter Dicke schmelzen können. Ein etwas geringeres Resultat erhielt Herschel (s. Art. Sonne S. 24).

Nach einer Berechnung von Daubrée *) beträgt die Wärmemenge, welche jährlich auf der Erdoberfläche zur Verdampfung verwendet wird, $\frac{1}{3}$ von derjenigen, welche die Erde von Seiten der Sonne erhält. Als Äquivalent für den dabei stattfindenden Kraftaufwand erhielt derselbe 16214937 Millionen Pferdekkräfte, was auf 1 Hectare 318 macht, vorausgesetzt nämlich, daß dieselben unterbrochen das ganze Jahr hindurch gleichmäßig thätig wären.

Man spricht auch von einer Temperatur des Weltraumes (Planetenraumes) und versteht darunter diejenige, welche durch die Strahlung aller Gestirne in demselben bewirkt wird. Um ihren Einfluß auf irgend einen Ort der Erdoberfläche zu bestimmen, müßte man von der daselbst herrschenden mittleren Temperatur den Einfluß der Sonnen- und eigenen Erdwärme in Abzug bringen; auch wäre der eigenthümliche Antheil der atmosphärischen Wärme und die Absorption, welche die Wärme des Weltraumes von Seiten der Atmosphäre erleidet, zu berücksichtigen. Setzt man am Erdboden ein Thermometer der nächtlichen Strahlung aus, so steht es unter dem Einflusse der Temperatur des Weltraumes und der strahlenden Wärme der Atmosphäre. Pouillet denkt sich eine Hülle, welche auf das Thermometer denselben Einfluß ausübt, wie der Weltraum und die Atmosphäre zusammen genommen. Diese Hülle nennt Pouillet Zenithalhülle und ihre Temperatur

*) Compt. rend. T. XXIV. p. 548. Pogg. Ann. Bd. LXXI. S. 173. Dingler's polytechn. Journ. Bd. CIV. S. 338.

Zenithaltemperatur. Da dieselbe von einer constant wirkenden Ursache, der Temperatur des Weltraums, und einer veränderlichen, der Temperatur der Luftschichten, abhängt, so ist sie für jeden besonderen Ort und für jede Zeit veränderlich. — Um die Gesetze der nächtlichen Wärmestrahlung, insbesondere die Zenithaltemperatur zu beobachten, benutzte Pouillet ein sogenanntes Aktinometer, das mit dem oben beschriebenen Herschel'schen nicht zu verwechseln ist. Das Pouillet'sche Aktinometer besteht aus vier Ringen von 2 Centimeter Durchmesser, welche mit Schwanensaum so ausgefüllt sind, daß sie nicht zusammengeedrückt werden, indem die Haut des Schwanes den Boden bildet. Diese Vorrichtung steht in einem Cylinder von Silberblech, der gleichfalls von einer Schwanenhaut umhüllt und von einem weiteren Cylinder umgeben ist. Nun ruht auf der Mitte der oberen Flaumen die Kugel eines empfindlichen Thermometers, und zwar ist durch den hervorragenden Rand die Einrichtung so getroffen, daß nur etwa zwei Dritttheile der hohlen Halbkugel des Himmels übersehen werden. Auch ist der Rand in der Ebene der Flaumen mit Löchern versehen, durch welche die kalte Luft abfließen kann. Dieser Apparat wurde nun während der Nacht gegen den heiteren Himmel gerichtet und das Thermometer von Stunde zu Stunde beobachtet und seine Stände mit denen eines anderen, vier Fuß über dem Boden frei in der Luft hängenden Thermometers verglichen. Denkt man sich das Aktinometer von unbegrenzter Oberfläche und im Vacuum unter einer halbkugelförmigen Hülle von constanten Temperatur befindlich, so würde es die Temperatur desselben annehmen; weil es sich aber in der Luft befindet, von der es Wärme empfängt, und nur zwei Dritttheile der Himmelskugel überblickt, so wird seine Temperatur die der Hülle oder die Zenithaltemperatur übertreffen. Pouillet gebrauchte nun, um aus der Temperaturangabe des Aktinometers und der Temperatur der umgebenden Luft die Zenithaltemperatur zu bestimmen, einen künstlichen Himmel, der aus einer Vase von Zink bestand, 1 Meter Durchmesser hatte und von drei dünnen Stäbchen in 2 Meter Höhe getragen wurde. Die Vase war am Boden geschwärzt und mit einer Kältemischung von -20° gefüllt. Unter diesen künstlichen Himmel wurde das Aktinometer so angebracht, daß das Thermometer nach einander ein Viertel, ein Drittel und zwei Drittel der Halbkugel überließ. Nachdem in jeder dieser Stellungen das Gleichgewicht der Temperatur abgewartet war, notirte man den Stand des Thermometers im Aktinometer und des anderen Thermometers, welches die Temperatur der umgebenden Luft angab. Eben so geschah es bei einer Erkaltung der Vase bis 0° und den zwischenliegenden Temperaturen. Das Resultat dieser Versuche war, daß man die Temperatur des künstlichen Himmels findet, wenn man von der Temperatur der Umgebung $\frac{3}{4}$ des Sinkens des Aktinometers abzieht. Bezeichnet man nun durch t die beobachtete Lufttemperatur, durch d das Sinken des Aktinometers, so hat man die Zenithaltemperatur $Z = t - \frac{3}{4} d$.

Aus vielen in heiteren und windstillen Nächten angestellten Beobachtungsreihen ergab sich, daß die Zenithaltemperatur fast wie die Temperatur der umgebenden Luft sinkt. Aus dem beträchtlichen Sinken der Zenithaltemperatur während der Nacht ergab sich aber, daß der hierher gehörige constante Antheil, nämlich die Temperatur des Weltraumes sehr gering ist im Verhältniß zum veränderlichen Theile, der Wärme der Atmosphäre. Der Schluß aus Pouillet's Untersuchung, die sich in der angezeigten Schrift desselben vollständig mitgetheilt findet, ist, daß die Temperatur des Weltraumes etwa -142° C. beträgt. Doch beruht diese

Untersuchung nicht ganz auf einer sicheren Grundlage. Gewiß ist aber die Temperatur des Weltraumes sehr niedrig. Fourier *) schätzte dieselbe wohl viel zu gering, nämlich auf 50 bis 60° unter Null, wogegen Arago **) bemerkte, daß sie wegen den tiefen Temperaturen, die im nördlichsten Amerika beobachtet sind, geringer als — 57° sein müsse. Einen noch geringeren Werth als Fourier erhielt Boisson ***). Nach Pouillet ist die Wärmemenge, welche der Himmelsraum der Erde und der Atmosphäre jährlich zuendet, im Stande, eine Eisdicke von 26 Meter Dicke zu schmelzen. Die aus dem Weltraume stammende Wärme beträgt hiernach $\frac{5}{6}$ der von der Sonne kommenden. Das Auffällige, daß der Weltraum bei einer Temperatur von — 142° der Erde so viel Wärme zusende, verschwindet nach Pouillet, wenn man bedenke, daß die Sonne rücksichtlich der Erde nur den fünfmillionsten Theil des Himmelsgewölbes einnehme, und daher zur Erzielung desselben Effects 200000 Mal mehr Wärme ausstrahlen müsse.

Beiläufig hier die Bemerkung, daß Zevons ****) ein neues Aktinometer zur Ermittlung der Sonnenwärme in Vorschlag gebracht hat. Dasselbe, ganz ähnlich eingerichtet wie der Wollaston'sche Krvophor, bestimmt den Wärmeeffect der Sonnenstrahlen aus der Menge des verdunsteten Wassers, das sich in einem getheilten Rohre wieder tropfbar flüssig absetzt.

In Rücksicht der Vertheilung der von der Sonne herrührenden Wärme auf der Erdoberfläche können wir hier auf die Art. Isothermen und Klima verweisen, und bezüglich der inneren Erdwärme auf den Art. Erde (vergl. auch den Art. Quellen).

Nach Bouguer ist das Licht des Vollmondes 300000 Mal schwächer als das der hellen Mittagssonne. Nimmt man nun auch an, daß die entwickelte Wärme der Intensität des Lichtes proportional ist, so ist doch eine merkliche Wärmeintensität von Seite der Mondstrahlen, selbst bei möglichster Concentration derselben, kaum zu erwarten. Nobili und Melloni *****) benutzten zur Ermittlung der thermischen Wirkung der Mondstrahlen einen Thermomultiplicator und eine stark concentrirende Linse, und doch war kaum die Anzeige einer solchen Wirkung zu erlangen.

Forbes †) concentrirte die Mondstrahlen durch eine 30 Zoll im Durchmesser haltende Polygonallinse von Soleil und ließ sie dann auf einen Thermomultiplicator wirken; allein es trat kein bemerkbarer Wärmeeffect hervor. Gewiß ist die thermische Wirkung der vom Monde reflectirten Lichtstrahlen äußerst gering. —

Zu den mechanischen Mitteln der Wärmeerregung gehören Compression und Reibung. Man weiß, daß gasförmige Körper, wenn sie in einem Gefäße rasch und stark comprimirt werden, eine sehr bedeutende Wärmemenge hergeben

*) Sur le températ. du globe terrestre et des espaces planétaires, Mém. de l'Inst. T. VII. 1827. Ann. de Chim. T. XXVII.

**) Compt. rend. 1836. No. 24. Pogg. Ann. Bd. XXXVIII. S. 235.

***) Sur la temp. du globe, Ann. de Chim. T. LXIV. 1837.

****) Phil. Mag. [4] T. XIV. p. 351.

*****) Pogg. Ann. Bd. XXVII. S. 449.

†) Edinb. Phil. Trans. T. XIII, on the Refraction and Polarisation of Heat. p. 7.

können *). Ein hierher gehöriges Beispiel liefert das pneumatische Feuerzeug oder Lachopyrion (s. Art. Feuerzeug, Bd. III. S. 183). Dagegen wird durch eine Ausdehnung oder Verdünnung der Gase eine Temperaturerniedrigung herbeigeführt. Wenn man nach De la Rive und Marceet **) gegen ein empfindliches Thermometer, das sich unter einem großen luftleeren Recipienten befindet, durch ein feines Rohr Luft strömen läßt, so sinkt dasselbe, indem die hineingelassene Luft sich ausdehnt und hierbei Wärme aufnimmt. Hat der Druck der Luft im Recipienten 4 Zoll Barometerhöhe erreicht, so bleibt das Thermometer stationär, bis zu etwa 6 Zoll Barometerhöhe, und steigt hierauf sehr merklich, indem nunmehr die Luft in dem Recipienten durch die eindringende eine Compression erfährt. Die Wirkung soll der Wärmecapacität und dem Grade der Compression der hineingelassenen Luft proportional sein.

Wenn man Luft, die in einem größeren Gefäße comprimirt ist, nach ihrer Abkühlung durch ein metallenes Rohr ausströmen läßt, so erfährt dieses an seiner Mündung eine Erkaltung, und Bictet ***) will sogar wahrgenommen haben, daß ein Wassertropfen an einem Rohre, aus welchem die mittelst einer gewöhnlichen Luftpumpe comprimirt Luft strömt, zu Eis gefriert.

Man erklärt diese beiden Erscheinungen der Entwicklung und Absorption von Wärme gewöhnlich aus den Capacitätsveränderungen, welche bei den Gasen die Dichtigkeitsänderungen begleiten. Unter der Voraussetzung, daß die Zusammendrückung oder Ausdehnung in einem für die Wärme undurchdringlichen Gefäße geschehe, kam Poisson zu folgender Formel für die Temperaturveränderungen, welche den Veränderungen des Volumens entsprechen:

$$x = (2690,67 + t) \left(\frac{d'}{d} \right)^{k-1} - 2690,67, \text{ worin } t \text{ die ursprüngliche Temperatur des Gases, } d \text{ seine ursprüngliche Dichte, } d' \text{ seine Dichte nach der Zusammendrückung oder Ausdehnung, } x \text{ seine der Dichte } d' \text{ entsprechende Temperatur, und } k \text{ das Verhältniß seiner Capacität unter einem constantem Drucke zu seiner Capacität unter einem constanten Volumen.}$$

Gay-Lussac und Laplace bemerkten, daß, wenn comprimirt Luft in einen luftleeren Raum strömt, die Gesammttemperatur der Luft nicht verändert wird, obgleich die Luft in dem einen Gefäße um einige Grade erkaltet, während sie in dem anderen, vorher luftleeren um eben so viel erwärmt wird. Die mittlere Temperatur der ganzen Luftmasse erfährt hierbei keine Veränderung. Boule fand dies bestätigt. Nach Roosen ****) erklärt sich diese Erscheinung nicht sowohl aus der Annahme eines abwechselnden Frei- und Latent-Werdens der Wärme durch Compression und Expansion, als vielmehr durch den Gedanken, daß

Gay-Lussac und Laplace bemerkten, daß, wenn comprimirt Luft in einen luftleeren Raum strömt, die Gesammttemperatur der Luft nicht verändert wird, obgleich die Luft in dem einen Gefäße um einige Grade erkaltet, während sie in dem anderen, vorher luftleeren um eben so viel erwärmt wird. Die mittlere Temperatur der ganzen Luftmasse erfährt hierbei keine Veränderung. Boule fand dies bestätigt. Nach Roosen ****) erklärt sich diese Erscheinung nicht sowohl aus der Annahme eines abwechselnden Frei- und Latent-Werdens der Wärme durch Compression und Expansion, als vielmehr durch den Gedanken, daß

*) Dalton, Mem. of Manchester T. V. p. 313. Gilb. Ann. Bd. XIV. S. 101. Gay-Lussac, Mém. de Phys. et Chim. de la Soc. d'Arcueil. T. I. p. 180. Ann. de Chim. et Phys. T. IX. p. 303; T. XIX. p. 436. Hachette, Ann. de Chim. et Phys. T. XXXV. p. 34. Gilb. Ann. Bd. LXXI. S. 200.

**) Bibl. univ. T. XXII. p. 276.

***) Journ. de Phys. T. XLVII. p. 186.

****) Ueber die Erwärmung und Abkühlung, welche die permanenten Gase erfahren, sowohl durch Compression und Dilatation, als auch durch Berührung mit Körpern von verschiedener Temperatur, in Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 437, 445 ff.

die Ausgleichung der Spannung zwischen dem vollen und luftleeren Gefäße nicht plötzlich geschehe, sondern einer gewissen Zeit bedürfe, in deren einzelnen Abschnitten die im gefüllten Gefäße befindliche Luft, um in das leere oder nur zum Theil gefüllte überzutreten, eine Arbeit zu leisten habe, indem sie den Widerstand der schon im vorher leeren Gefäße befindlichen Luft überwinde. Da sie hierbei einen mechanischen Effect leiste, müsse sie auch Wärme verlieren, welche natürlich, so wie der geleistete Effect, an die Luft im luftverdünnten Gefäße übertrete. *Rosen* betrachtet den Satz, daß die Gesamtwärme der Gase nur Function der Temperatur sei, und daß es in einem Gase nur fühlbare, keine latente Wärme gebe, als die Grundlage der Lehre von der Wärme der Gase und von der bewegenden Kraft dieser Wärme. Nach diesem Satze wird einer Veränderung des Volumens, als einer unabhängig Veränderlichen kein Einfluß auf die Gesamtwärme zugeschrieben, vielmehr tritt eine solche Abhängigkeit beider von einander nur unter gewissen Bedingungen, wenn nämlich zugleich äußere Arbeit geleistet wird, ein. Nach *Joule's* Versuchen wird die Temperaturveränderung der Luft in einem für Wärme undurchdringlichem Gefäße durchaus nicht durch die Volumenänderung bestimmt, sondern hängt allein von der Größe des mechanischen Effects ab, welchen die Luft bei ihrer Ausdehnung leistet. Als *Joule* comprimirt Luft in die Atmosphäre oder in luftverdünnte Räume strömen ließ, fand er, daß dann die verschwundene Wärme der bei der Ausdehnung geleisteten Arbeit proportional war. — Das von *Dulong* entdeckte Gesetz, daß gleiche Volumina alle Gase, wenn sie um ein gleiches Bruchtheil ihres Volumens zusammengedrückt werden, Wärmemengen entwickeln, die ihrer Spannung einfach proportional sind, ergibt sich nach *Rosen* einfach aus dem oben erwähnten Satze, insofern nämlich die geleistete Arbeit in allen Fällen der Spannung proportional sei und nur durch das mechanische Aequivalent für die Wärmeeinheit dividirt zu werden brauche, um die absolute Vermehrung der Gesamtwärme darzustellen.

Für die Abkühlung bei dem Ausfluß von Gasen durch enge Oeffnungen haben *Joule* und *W. Thomson* *) Formeln entwickelt.

Man weiß ferner, daß durch schnelle Compression fester Körper, z. B. beim Prägen der Münzen, Wärme entwickelt wird. *Verthollet* **) benutzte zu Versuchen hierüber eine Prägmaschine mit Balancier, indem er mittelst derselben Metallscheiben zusammenpreßte, diese dann sofort in Wasser warf und aus der Temperaturerhöhung des letzteren die entwickelte Wärmemenge bestimmte. Die ersten Stöße gaben stets die meiste Wärme, und es schien eine Grenze zu geben, über welche hinaus fortgesetzte Pressungen keine Wärmeentwicklung mehr zur Folge hatten. *Verthollet* betrachtet die erhaltene Wärme als Resultat einer verminderten Wärmecapacität. Bekannt ist übrigens, daß man ein Stück Eisen durch fortgesetztes rasches Hämmern bis zum Glühen erhitzen kann. Wenn auch hierbei eine bleibende Formänderung und in Folge dessen eine Verringerung der Wärmecapacität stattfindet, so ist doch auch anzunehmen, daß dabei abwechselnde Annäherungen und Entfernungen der kleinsten materiellen Theilchen, d. h. abwechselnde Compressionen und Dilatationen vorgehen. *Rosen* ***) macht darauf auf-

*) Phil. Mag. [4]. XIII. p. 286. Institut. 1857. p. 233.

**) Mém. de la Soc. d'Arcueil. T. II. p. 441.

***) A. a. D. S. 466.

merksam, daß hier die Wärmeentwicklung als ganz in derselben Weise erfolgend betrachtet werden könne, als bei jenem Versuche, wo die Luft in einem Cylinder wiederholt zusammengedrückt und nach Hinegnahme des äußeren Druckes ihrer freien Ausdehnung überlassen werde. So kann auch bei vollkommener Elasticität und dem Mangel irgend einer bleibenden Gestaltveränderung Wärmeentwicklung stattfinden. Doch hat man hier unter vollkommener Elasticität eines Körpers nur das vollständige Zurückgehen aller Theilchen in ihre ursprüngliche Lage, nicht aber auch das Hervorbringen desselben mechanischen Effectes bei ihrem Zurückkehren in den gewöhnlichen Zustand, als bei ihrer ersten Ausweichung consumirt worden, zu verstehen. Beide Quantitäten können verschieden sein. Bei dem raschen Hämmern kalter Metalle geschieht nun jede Dilatation im Allgemeinen unter Leistung eines geringeren mechanischen Effectes, als durch die ursprüngliche Ablenkung der materiellen Theile aus ihrer natürlichen Lage mittelst des äußeren Impulses consumirt wurde. Indem die Rückkehr der Molecüle zu ihrer Gleichgewichtslage unter einem geringeren äußeren Druck geschieht, wird auch eine geringere mechanische Arbeit geleistet, als bei ihrer anfänglichen Ablenkung aus der Gleichgewichtslage consumirt wurde.

Die Thatfache, daß durch die Compression fester Körper Wärme entwickelt wird, führte zu der Vermuthung, daß durch ihre Ausdehnung eine Temperaturerniedrigung entstehen müsse. Allein die Ausdehnung ist mitunter nur eine scheinbare, insofern mit der Ausdehnung oder Verlängerung eines Körpers nach der einen Seite hin, eine Zusammenziehung nach einer anderen Seite hin verbunden sein kann. Als ein hierher gehöriges Beispiel führt man nicht selten das Federharz oder Kautschuk an *). Legt man einen Streifen Kautschuk an die Lippen und zieht ihn, nachdem er die Temperatur der letzteren angenommen hat, schnell und stark auseinander, so erhält man eine Wärmeempfindung.

Lagerhjelm **) beobachtete, daß sich Wärme aus abgerissenen Eisenstangen entwickelte, ohne daß dabei eine Vermehrung der Dichtigkeit stattfand. Eine Temperaturerniedrigung beobachtete indeß Joule ***) bei Metalldrähten, welche durch Gewichte gespannt wurden, und eine Temperaturerhöhung, wenn man die spannenden Gewichte wegnahm. Die hier beobachteten Wärmeeffecte ließen

sich berechnen nach der von W. Thomson aufgestellten Formel $H = \frac{l}{J} P \cdot e$,

wo H die von einem Drahte von 1 Fuß Länge absorbirte Wärmemenge, l die absolute Temperatur, J das mechanische Aequivalent der Wärmeeinheit, P die Belastung und e den Ausdehnungscoefficienten durch die Wärme bezeichnet. Gutta-Percha bot dieselben Erscheinungen wie die Metalldrähte, während vulkanisirter Kautschuk eine Erwärmung bei der Dehnung und eine Abkühlung beim Zusammenziehen zeigte. Als vulkanisirter Kautschuk, welches durch Gewichte gedehnt war, erwärmt wurde, zog es sich zusammen, — ein Resultat, das die theoretische Entwicklung Thomson's vorausgesehen hatte.

*) Thomson, System etc. T. IV. p. 197.

**) Berzelius, Jahresbericht. Th. VIII. S. 77.

***) Phil. Mag. 4 Ser. T. XIV. p. 227. Instit. 1858. p. 81. Archives de sciences physiques et naturelles, Genève. T. XXVI. p. 175. — Bergl. Weber in Pogg. Ann. Bd. 20. S. 177.

Daß durch Reibung eine bedeutende Wärme entwickelt werden kann, bezeugen viele bekannte Erscheinungen. Man weiß, daß Sägen, Bohrer und andere derartige Instrumente während ihres Gebrauches durch Reibung erhitzt werden, und ein Wagenrad kann Feuer fangen, wenn es sich sehr schnell um seine (ungeschmierte) Ase dreht. Das Holz entzündet sich durch Reiben an Holz, was man leicht bewirken kann, wenn man gegen ein Stück Holz, welches vermittelst einer Drehbank in schnelle Rotation versetzt ist, ein anderes Stück andrückt. Die bei der Reibung stattfindende Wärmeentwicklung ist mitunter so bedeutend, daß man sie nicht wohl als Folge einer bleibenden Zusammendrückung und daher rührenden Verminderung der Wärmecapacität betrachten kann. Rumford*) ließ auf dem Boden einer erzenen Kanone, welche senkrecht aufgestellt und mit Wasser gefüllt war, einen Bohrer unter einem beständigen Drucke schnell umdrehen. In einer Zeit von 2 Stunden waren 4145 Grains (engl. Gew.) Erz in Staub verwandelt, und die entwickelte Wärme war im Stande, 26 Pfund Wasser von 0° bis 100° zu bringen. Diese Wärme kam ohne Zweifel nicht von einer bleibenden Veränderung der Dichte der Erzmasse oder der abgelösten Späne, da diese dieselbe Wärmecapacität wie die Erzmasse hatten. Nach Versuchen von HaIdat**) hängt zwar die entwickelte Wärmemenge sehr von der Beschaffenheit der reibenden Körper ab, aber nicht von ihrer Dichtigkeit. Werden zwei Körper mit ungleichen Oberflächen an einander gerieben, so erhält nach Becquerel***) mit zunehmender Stärke bei schnellerer Reibung die rauhe Fläche die größte Wärme; so wird, wenn man eine mattgeschliffene und eine polirte Glascheibe an einander reibt, die erstere wärmer, und bei der Reibung zweier sonst gleicher Korkeisbeiben, von denen die eine rauh, die andere glatt ist, wird jene am stärksten erwärmt. Auch wird insbesondere der Körper, der sich beim Reiben mit einem anderen ähnlichen am meisten erwärmt, negativ elektrisch. — Eine Legirung von 1 Th. Eisen und 2 Th. Spiegelsglas giebt unter der Feile, wie Becquerel****) bemerkt, lebhafteste Feuerfunken, es werden also die Theilchen der Feilspäne durch die Reibung zur Temperatur der Verbrennung gebracht. Bei dem gemeinen Feuerzeug reißen die Schärpen des Feuersteins Stüchchen vom Stahl ab, die gleichfalls hinreichend erhitzt sind, um sich in der Luft zu entzünden und in Gestalt kleiner durch die Schmelzung abgerundeter Kugeln nur zum Theil verbrannt herabzufallen. Selbst zwei Eisstücke geben, unter 0° an einander gerieben, wie Davy fand, hinlänglich Wärme, um an ihren Oberflächen zu schmelzen.

Die durch Reibung entwickelte Wärme scheint, unabhängig von der Wärmeleitung und Wärmecapacität der sich reibenden Körper, mit der Stärke des Druckes zu wachsen. Jedenfalls ist die entwickelte Wärmemenge der aufs Reiben verwendeten mechanischen Arbeit proportional. Wie wir früher, bei Betrachtung des mechanischen Aequivalents der Wärme, gesehen haben, kann auch aus tropfbaren Flüssigkeiten, welche dabei keine bleibende Formveränderung erleiden, durch Reibung Wärme entwickelt werden. So wird nach Joule Wärme entwickelt, wenn man Wasser durch enge Röhren treibt, oder wenn eine Welle, die mit Flügeln

*) Seeley's Journ. Th. I. S. 1.

**) Journ. de Phys. T. LXV. p. 213. Nicholson's Journ. Bd. XXVI. S. 30.

***) Ann. de Chim. et Phys. T. LXX. p. 324. Edinb. New Phil. Journ. N. L. p. 368. Instit. T. VI. Ann. No. 248. p. 319.

versehen ist, in einem mit Wasser gefüllten Gefäße in Rotation versetzt wird; und Mayer fand, daß Wasser durch Schütteln in einem Gefäße erwärmt wird. Schon Rumford bemerkte, daß man eine, so zu sagen, unbegrenzte Wärmemenge erhalten kann, wenn man einen messingenen Cylinder innerhalb einer Wassermasse in schnelle Rotation versetzt.

Beiläufig erwähnen wir noch, daß im Jahre 1855 auf der Pariser Industrieausstellung ein sogenannter Frictionskochapparat von Beaumont und Mayer zu sehen war, vermittelt dessen man in einigen Stunden 400 Liter Wasser ins Kochen zu bringen vermochte. Derselbe bestand aus einem Holzsegel, der mit geöltem Hanf überzogen war und in einem hohlen Messingsegel schnell (400 Mal in 1 Minute) umgedreht werden konnte. Der letztere lag mitten in der zu erhitzenden Wassermasse, und die Wärme wurde eben durch die Reibung des Holzsegels an den Wänden des hohlen Messingsegels entwickelt.

Auch bei der Absorption (oder Verdichtung) von Gasen durch poröse oder fein vertheilte feste Körper findet mitunter eine beträchtliche Wärmeentwicklung statt. Hierher gehört z. B. die Entzündung eines Gemenges von Sauer- und Wasserstoff durch Platinmehl (s. Art. Feuerzeug, Bd. III. S. 187 ff.). Die Selbstentzündung der Kohle läßt sich wohl gleichfalls hierher rechnen (s. Artikel Kohlenstoff, Bd. IV. S. 301); auch hat man bei ihr nicht selten eine Selbstentzündung durch die mechanische Wirkung des Stoßes beobachtet (s. ebenda).

Bouillet *) fand mittelst seiner Thermometer, daß alle festen Körper durch Flüssigkeiten, die leicht in sie eindringen, eine Temperaturerhöhung erfahren. Die Körper wurden in Pulverform angewendet und mit verschiedenen Flüssigkeiten (Wasser, Alkohol, Essigäther) benetzt. Organische Körper erwärmten sich auf diese Weise stärker als unorganische. In den meisten Fällen betrug die Temperaturerhöhung nicht über $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{3}$ Grad, einige Mal stieg sie aber bis 10° .

Zu den reichlichsten Wärmequellen auf der Erdoberfläche gehören die chemischen Verbindungen und unter ihnen vorzugsweise diejenigen, welche man durch den Ausdruck „Verbrennung“ bezeichnet (s. d. Art. Verbrennung, Heizung, Flamme und Feuer). Alle chemischen Verbindungen, wenn sie nicht von gewissen Zersetzungen oder Ueänderungen des Aggregatzustandes begleitet sind, entwickeln mehr oder weniger Wärme. So bemerkt man, um einige der gewöhnlichsten Beispiele anzuführen, eine bedeutende Temperaturerhöhung, wenn lebendiger Kalk mit Wasser, oder engl. Schwefelsäure mit Wasser zusammenkommen; Baryt, Strontian und Kalk werden in Berührung mit Schwefelsäure glühend, chlorsaures Kali giebt mit Schwefelsäure so viel Wärme, daß dadurch Schwefel entzündet werden kann (s. Art. Feuerzeug), Kalium entzieht dem Wasser den Sauerstoff unter Feuererscheinung, und dergleichen. Die entwickelte Wärmemenge ist auch im Allgemeinen um so größer, je inniger die chemische Verbindung wird, und man sieht darum wohl auch diese Wärmemenge als ein Maß der chemischen Verwandtschaft an. Nach den Untersuchungen von Hess **) ist die entwickelte Wärmemenge eine constante Größe, mag die Verbindung rasch oder

*) Ann. de Chim. et Phys. T. XX. p. 141. Gilb. Ann. Bd. LXXII. S. 336.

**) Bullet. scient. de l'Acad. de St. Petersburg. T. VIII. Ann. de Chim. et Phys. T. LXXV. 3^{me} Sér. T. IV. Pogg. Ann. Bd. XLVII. S. 210; Bd. LII. S. 97; Bd. LIII. S. 535; Bd. LVI. S. 463, 593; Bd. LXVI. S. 58.

langsam, direct oder indirect vor sich gehen. Mischt man z. B. engl. Schwefelsäure mit 1 Aequivalent Wasser, fügt dann ein zweites Aequivalent Wasser hinzu u. s. f. bis keine bemerkbare Wärmeentwicklung mehr stattfindet, so ist die Summe der nach einander frei werdenden Wärmemengen eben so groß als die Wärmemenge, welche man erhalten haben würde, wenn man dieselbe Wassermasse auf einmal mit der Schwefelsäure gemischt hätte.

Auch Ubría *) stellte Versuche an über die durch die Verbindung der Schwefelsäure mit Wasser entwickelte Wärmemenge, indem er beide Flüssigkeiten in Gefäße einschloß, durch Umdrehung derselben unter Wasser vereinigte und die Temperaturerhöhung des letzteren bestimmte.

Favre und Silbermann **) fanden, daß 1 Kil. Schwefelsäurehydrat (engl. Schwefelsäure) mit 1 Aequiv. Wasser 64,7 Wärmeeinheiten liefert, mit 2 Aequiv. Wasser 94,6 Wärmeeinheiten; 1 Kil. Kalkhydrat gab mit 1 Aequiv. Wasser 669, 1 Kil. Salzsäure 603 und 1 Kil. Salpetersäure mit 1 Aequiv. Wasser 607 Wärmeeinheiten.

Nach Hess entwickelt ein zusammengesetzter Brennstoff stets weniger Wärme, als seine Bestandtheile einzeln genommen, während Dulong annahm, daß die Verbrennungswärme eines zusammengesetzten Körpers gleich sei der Summe der Verbrennungswärmen seiner Bestandtheile. Bei Körpern von einfacherer Zusammensetzung ist dies noch annäherungsweise richtig, sonst nimmt nach Favre und Silbermann die Verbrennungswärme der Verbindung um so mehr ab, je größer das Atomgewicht ist. Auch fand sich, daß mehrere organische Körper bei gleicher procentischer Zusammensetzung doch ungleiche Verbrennungswärmen liefern.

Wenn zwei Lösungen neutraler Salze von gleicher Temperatur zusammenkommen und zwei neue lösliche Verbindungen bilden, so findet nach Hess keine merkliche Aenderung der Temperatur statt, so daß man solche neutrale, gemengte Lösungen „thermoneutral“ nennen könnte.

Ferner wurden über diesen Gegenstand von L. Andrews ***) Untersuchungen angestellt. Versuche mit verdünnten Lösungen von Säuren und Basen führten zu folgenden Resultaten. Die Wärmemenge, welche durch die Verbindung von Säuren mit Basen entwickelt wird, hängt von der Basis und nicht von der Säure ab, insofern ein Aequivalent verschiedener Säuren mit derselben Basis fast gleiche Wärmemengen giebt, während ein Aequivalent verschiedener Basen bei seiner Verbindung mit derselben Säure oft ungleiche Wärmemengen liefert. Wenn neutrale Salze sich mit Säuren zu sauren Salzen verbinden, so findet keine Temperaturerhöhung statt, wohl aber, wenn neutrale Salze durch Aufnahme einer neuen Quantität Basis in basische Salze übergehen. Später fand sich noch ****), daß, wenn eine Basis eine andere aus irgend einer ihrer neutralen Verbindungen verdrängt, die frei gewordene oder gebundene Wärmemenge bei den nämlichen Basen stets gleich ist, von welcher Art auch die Säure sein mag.

*) Ann. de Chim. et Phys. 3^{me} Sér. T. XII. p. 167.

**) Compt. rend. T. XX. p. 1563; T. XXI. p. 944; T. XXIV. p. 1081; T. XXVI. p. 395; T. XXVIII. p. 632.

***). Transact. of the Irish Acad. Vol. XIX. p. 228, 293, 406. Pogg. Ann. Bd. LIX. S. 428 (s. auch Bd. LIV. S. 208).

****) Phil. Trans. f. 1844. p. 21; Pogg. Ann. Bd. LXVI. S. 31.

Auch von T. Graham *) liegen Untersuchungen über die Wärmeentwicklung durch chemische Verbindungen vor.

Nach Favre und Silbermann entwickelt Kali mit Schwefelsäure, Salpetersäure, Salzsäure, Essigsäure respect. die Wärmemengen 342, 330, 333, 297, Natron mit denselben Säuren respective 520, 493, 493, 439, Ammoniak 565, 527, 521, 486, Baryt 270, 202, 201, 174, Kalk 670, 605, 606, 524, Eisenorydul 308, 268, 273, 239, Zinkoryd 253, 203, 203, 188, endlich Kupferoryd mit denselben Säuren respect. 194, 159, 160, 132.

Andrew **) stellt die numerischen Resultate seiner Versuche bezüglich der Sauerstoff- und Chlorverbindungen in nachstehender Tabelle zusammen. Die Einheit, auf welche sich diese Zahlen beziehen, ist die von Dulong angenommene, nämlich die Wärmemenge, die erfordert wird, um ein Gramm Wasser von der beim Versuch stattfindenden Temperatur um einen Centigrad zu erhöhen. Zur Erläuterung der Tafel fügen wir noch bei, daß z. B. ein Liter Sauerstoff mit Wasserstoff 6072 Wärmeeinheiten, ein Gramm Sauerstoff mit Wasserstoff 4226, und ein Gramm Wasserstoff mit Sauerstoff 33808 Wärmeeinheiten entwickelt. Ebenso verhält es sich bei den anderen Substanzen.

Sauerstoffverbindungen.

	Für Sauerstoff		Substanz.
	1 Liter.	1 Grm. oder Aeq.	1 Gramm.
Wasserstoff	6072	4226	33808
Kohlenoryd	6114	4233	2431
Stumpfgas	4716	3278	13108
Delbildendes Gas	5003	3183	11942
Alkohol	4716	3282	6850
Kohle	4236	2962	7900
Schwefel	3313	2307	2307
Phosphor	6479	4309	8747
Zink	7710	5366	1301
Eisen	5940	4134	
Zinn	6078	4230	
Zinnorydul	6249	4349	521
Kupfer	3440	2394	
Kupferorydul	3288	2288	256

Chlorverbindungen.

	Für Chlor			Substanz.
	1 Liter.	1 Gramm.	1 Aequiv.	1 Gramm.
Kalium	9329	2943	13008	2633
Zinn	2844	897	3966	1079
Antimon	2726	860	3804	707
Arsen	2232	704	3114	694
Quecksilber	2603	822	3633	
Phosphor	1923	607	2683	3422?
Zink	4524	1427	6309	1529
Kupfer	2734	839	3803	961
Eisen	2920	921	4072	1745

*) Lond. and Edinb. Phil. Mag. No. 161. T. XXIV. p. 401.

**) Phil. Magaz. Ser. III. T. XXXII. p. 321. Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 27, 244, 252.

Favre und Silbermann *) fanden, rücksichtlich der Kohle, daß die Wärmeentwicklung bedeutend abgeändert wird durch den physischen Zustand, worin sich dieselbe vor der Verbrennung befindet. Nach ihren Versuchen beträgt die entwickelte Wärmemenge im Mittel beim Diamant 7824, beim natürlichen Graphit 7796, beim künstlichen Graphit 7760 und bei der Holzkohle 8080 Einheiten. Die bei jeder Verbrennung gebildete Menge Kohlenoxyd wurde bei diesen Versuchen bestimmt und darnach das direct gefundene Resultat berichtigt. Als Andrews die Holzkohle, anstatt in einen Platinnapf, in einen Korb von feinem Platindraht legte, ging die Verbrennung mit solcher Lebhaftigkeit vor sich, daß nicht mehr als $\frac{1}{200}$ der Kohle in Kohlenoxyd verwandelt wurde. Bei einem einzigen, auf diese Weise angestellten Versuche mit nicht vollständig gereinigter Holzkohle erhielt er 7860 Wärmeinheiten, was, berichtigt wegen des gebildeten Kohlenoxyds, 7881 Einheiten geben würde für die gesammte Wärmemenge, die bei der Umwandlung der Kohle in Kohlensäure erzeugt wird. Und dies stimmt nahe überein mit den Versuchen von Favre und Silbermann über die Verbrennungswärme des Diamants und Graphits, nicht aber mit deren Versuchen über die der Holzkohle.

In Bezug auf die Wärmeentwicklung beim Austausch von Metallen kam Andrews **) zu folgendem allgemeinen Resultate: „Wenn ein Aequivalent eines und desselben Metalls ein anderes in einer Lösung irgend eines seiner Salze von gleicher Ordnung ersetzt, so ist die entwickelte Wärme immer dieselbe; allein ein Wechsel eines der beiden Metalle erzeugt eine verschiedene Wärmeentwicklung“. Unter dem Ausdruck „Lösung eines Salzes von gleicher Ordnung“ ist eine Lösung verstanden, in welcher auf Zusatz eines Alkalis ein gleicher Niederschlag erfolgt, oder in welcher das Metall in demselben Oxydationszustande vorhanden ist.

Bei einer Versuchsreihe mit Kupferoxydsalzen und metallischem Zink wurden concentrirte Lösungen genommen und in ein kleines Gefäß gebracht, worin sich auch ein oben offenes Glasrohr befand, welches reines Zink im Zustande seiner Vertheilung enthielt. Das sorgfältig verschlossene Glasgefäß wurde in ein größeres Kupfergefäß gestellt, welches mit einem Deckel versehen war. Das letztere, mit Wasser von der geeigneten Temperatur gefüllt, hing in einem äußeren Gefäß von Weißblech, und das Ganze wurde in einem mit einem Deckel verschlossenen Cylinder gebracht, der mittelst eines Rades in Rotation versetzt werden konnte. Sobald nun alle Theile des Apparates eine gleiche Temperatur erlangt hatten, wurde durch eine kleine Oeffnung im Deckel des Kupfergefäßes in das darin befindliche Wasser ein sehr empfindliches Thermometer gestellt, und der Stand desselben beobachtet. Hierauf wurde das Thermometer entfernt, die Oeffnung durch einen Kork verschlossen, der Deckel des äußeren Gefäßes aufgesetzt, und dem Rotationsrade eine halbe Umdrehung gegeben, um das metallische Zink mit der Kupferlösung in Berührung zu bringen. Eine Rotation von fünf und einer halben Minute erwies sich als hinlänglich, nicht allein um das Kupfer vollständig zu fällen, sondern auch um die aus der chemischen Reaction entstehende Wärme gleichförmig durch den ganzen Apparat zu verbreiten. Die Temperatur des Wassers war so gewählt, daß die erforderlichen Berichtigungen wegen des erwärmenden und abkühlenden Ein-

*) Compt. rend. T. XX. p. 1865; T. XXI. p. 944.

**) Phil. Transact. f. 1848. Pogg. Ann. Bd. LXXXI. S. 73.

flußes der Luft sehr unbedeutend wurden; doch wurde ihr Betrag bei jedem Versuch ermittelt und darnach das Resultat berichtigt. Um hinsichtlich der Concentration der Lösungen alle Unsicherheit zu entfernen, wurde eine bedeutende Menge eines jeden Salzes in Wasser gelöst und die Lösung durch Fällung des Kupferoxydes sorgfältig analysirt. Alle Lösungen wurden in einem vollkommen neutralen Zustande angewendet.

Bei einer zweiten Versuchskreihe nahm man verdünntere Lösungen und beobachtete den Temperaturanwuchs direct in der Lösung, in welcher die Fällung geschah. — Eine secundäre Wärmeentwicklung wird herbeigeführt einmal durch Oxydation des gefällten Metalles durch die im oberen Theil des Glasgefäßes enthaltene Luft, und in Folge einer Volta'schen Kette, die das gefällte Kupfer mit dem überschüssigen Zink bildet. Die Anbringung der erforderlichen Vorrichtung ist schwierig und die hieraus resultirende Unsicherheit verhinderte, eine absolute Genauigkeit in den Zahlenwerthen zu erhalten. Andrews erhielt unter andern folgende Zahlenwerthe. Die Zahlen der ersten Columne bezeichnen die Centigrade, um welche ein Gramm Wasser durch die Fällung eines Grammes Metall aus der Lösung irgend eines seiner Salze erwärmt werden würde, und die Zahlen der zweiten Columne drücken aus, um wie viele Grade dasselbe Gewicht Wasser sich durch die Fällung eines Äquivalents (Sauerstoff = 1) von demselben Metall erwärmen würde.

	Vom gefälltem Metall	
	1 Gramm.	1 Äquivalent.
Kupfersalze und Zink . .	868°	3435
Kupfersalze und Eisen . .	592	2342
Kupfersalze und Blei . .	268	1061
Silbersalze und Zink . .	426	5747
Silbersalze und Kupfer . .	161	2176
Bleisalze und Zink . .	182	2357
Quecksilbersalze und Zink . .	333	4166
Platinsalze und Zink . .	899	11085

Stehen drei Metalle A, B, C in solcher Beziehung, daß A im Stande ist, B und C aus ihren Verbindungen abzuscheiden, und auch B fähig ist C zu fällen, so ist die Wärme, welche bei Erregung von C durch A entwickelt wird, gleich der, welche sich bei Erregung von B durch A entbindet, vermehrt um die, welche bei Erregung von C durch B frei wird. So giebt 1 Äquiv. Blei ausgeschieden durch Zink 2357°, 1 Äquiv. Kupfer ausgeschieden durch Blei 1061, und hiernach 1 Äquiv. Kupfer ausgeschieden durch Zink $2357 + 1061 = 3418^\circ$. Das Experiment gab 3435°, was, wie Andrews bemerkt, in solchen Untersuchungen als identisch betrachtet werden kann mit der theoretischen Zahl. Berner gab 1 Äquiv. Kupfer gefällt durch Zink 3435°, 1 Äquiv. Silber gefällt durch Kupfer 2176, und hiernach 1 Äquiv. Silber gefällt durch Zink 5611°; das Experiment lieferte 5747°, was nur um $\frac{1}{43}$ von der Theorie abweicht.

Favre und Silbermann *) stellten auch einige Versuche über die verschiedene Wärmemenge an, welche bei der Absorption des Chlorgases durch Kalilauge entwickelt wird, je nachdem das Chlorgas dem Lichte ausgesetzt gewesen oder ganz im Dunkeln aufbewahrt war. In jenem Falle erhielten sie 478,85 Wärmeeinheiten, in diesem nur 439,70. Die Differenz von 39,15 Wärmeeinheiten hat nach denselben ihren Grund in einer Lichtwirkung auf die Molecüle des Chlorgases, in der Art, daß dadurch eine Wärmebindung veranlaßt werde, die dann bei der chemischen Verbindung mit Kali jenen Ueberschuß von 39,15 Wärmeeinheiten bedinge, insofern die gebundene Wärme dabei frei hervortrete. Auch fanden sie, daß die durch das bestrahlte Chlorgas entwickelte Wärmemenge 478,85 mit dem Aequivalent desselben multiplicirt die halbe Verbrennungswärme des Wasserstoffes giebt.

Die Wärmeentwicklung, welche die Bildung einer in Wasser gelösten Chlorverbindung begleitet, ist nach Favre und Silbermann **) stets um ein Bestimmtes größer als die bei der Bildung einer entsprechenden Jod- oder Bromverbindung entwickelte Wärmemenge.

Die Grundzüge eines thermodynamischen Systems sind von J. Thomson ***) aufgestellt worden, welcher dabei von folgenden Begriffen ausgeht. Die Intensität der chemischen Kraft ist in demselben Körper bei unveränderter Temperatur dieselbe. Die ganze durch eine chemische Wirkung erzeugte Wärmemenge ist ein Maas für die durch den Proceß entbundene chemische Kraft. Als Einheit für die entwickelte Wärme dient die Quantität, welche erforderlich ist, um die Temperatur einer Wassermenge gleich dem Gewichte eines Aequivalents Sauerstoff um 1° C. zu erhöhen. Setzt man das Aequivalent des Sauerstoffs = 1 Grm., so ist die Wärmeeinheit = 1 Grm. Wasser um 1° C. erwärmt. — Denkt man sich ferner die Intensität i der chemischen Kraft eines Stoffes von i bis $\frac{i}{\infty}$ verringert und die ganze dadurch entwickelte Kraft auf Wärmeeinheiten reducirt und für das Aequivalent des Stoffes berechnet, so erhält man einen Ausdruck für die Größe der chemischen Kraft des Aequivalents. Diese Größe nennt J. Thomson das „thermodynamische Aequivalent des Stoffes“. Körper mit gleichem thermodynamischen Aequivalent werden isodynam, solche mit ungleichem thermodynamischen Aequiv. heterodynam genannt. Die Größe der Wärmeentwicklung bei Bildung einer Verbindung ist eine Function der thermodynamischen Aequivalente der Bestandtheile und der Verbindung; sie ist nämlich die Differenz zwischen der Summe der thermodynamischen Aeq. der Bestandtheile und dem thermodynamischen Aeq. der Verbindung. Führt man den Ausdruck „Wärmetönung“ ein, um gleichzeitig Wärmeentwicklung und Wärmeabsorption zu bezeichnen, so läßt sich sagen, die Wärmetönung bei Zersetzung einer Verbindung ist gleich groß, aber entgegengesetzt der, welche bei der Bildung der Verbindung hervortritt, entsprechend dem experimentell festgestellten Satze, daß bei der Zersetzung einer Verbindung so viel Wärme gebunden wird, als die Vereinigung ihrer Bestandtheile hervorbrachte. — Ist die Summe der thermodynamischen Aequiv. einer zu bildenden Verbindung größer als das

*) Compt. rend. T. XXVII. p. 362. Instit. 1848. p. 309.

**) Compt. rend. T. XXVIII. p. 632.

***) Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 349; Bd. XC. S. 261; Bd. XCI. S. 83. Bd. XCII. S. 31.

thermodynamische Aequiv. der Verbindung, so ist die Bildung der Verbindung von einer Wärmeentwicklung begleitet, im entgegengesetzten Falle tritt eine Wärmeabsorption ein. — Bezüglich des Weiteren sei hier auf die cit. Abhandlung selbst verwiesen.

In Rücksicht der Wärmeentwicklung bei Molecularveränderungen erwähnen wir einer Beobachtung von Regnault, nach welcher weicher amorpher Schwefel, der in einem Luftbade auf 93° erwärmt ist, seine Temperatur von selbst bis auf 110° erhöht und hiernach allmählig auf die Temperatur des Luftbades zurückgeht, wobei er sich in gewöhnlichen harten gelben Schwefel verwandelt. Läßt man den weichen amorphen Schwefel etwa vier Wochen liegen, bis er vollständig erhärtet ist, wo er dann nur theilweise in Schwefelkohlenstoff löslich ist, so tritt beim Erwärmen desselben, wie R. Weber *) fand, ebenfalls eine, allerdings weit geringere spontane Temperaturerhöhung, nämlich von etwa 1 bis 2° ein. Nach dem Erkalten zeigt der Schwefel einen krystallinischen Bruch und ist in Schwefelkohlenstoff völlig löslich. Die leicht zerreibliche Masse, welche der aus weichem oder erhärtetem amorphem Schwefel durch Behandlung mit Schwefelkohlenstoff entstehende Rückstand bildet, sintert durch Erwärmung auf 100° zu einer compacten Masse zusammen, die in Schwefelkohlenstoff leicht löslich ist. Die oben erwähnte theilweise Schmelzung ist das Resultat einer spontanen Wärmeentwicklung; denn als der in Schwefelkohlenstoff unlösliche Schwefel in einem Reagenzglas, worin ein Thermometer stand, durch Wasserdämpfe auf 100° erhitzt wurde, fand R. Weber, daß die Temperatur sich von 100° während 12 bis 15 Minuten auf 106° erhob, hier kurze Zeit stehen blieb und dann wieder auf die Temperatur des umgebenden Dampfes herabging.

Es ist bekannt, daß Krystalle, die auf gewöhnliche Weise durch Schmelzen des Schwefels erhalten werden, aus der monoklinometrischen Form in die rhombische übergehen können. Taucht man nach Mitscherlich *) die frischen, durch Schmelzen bereiteten Krystalle in eine gesättigte Auflösung von Schwefel in Schwefelkohlenstoff, so findet die besagte Umänderung sogleich statt, und auf der Oberfläche und im Innern der einzelnen Krystalle haben sich erkennbare Rhombenoctaëder gebildet. Man braucht die Spitze eines Krystalles nur mit Schwefelkohlenstoff zu berühren, damit von dieser Stelle die Umänderung sich sogleich durch den ganzen Krystall verbreitet. Durch diese rasche Umänderung ward es Mitscherlich möglich, die Wärme zu bestimmen, welche dabei frei wurde. Bei einem dergleichen Versuche wurde so viel Wärme frei als nöthig war, um die angewandte Schwefelmenge um etwas mehr als 12° zu erwärmen. Da es sich jedoch zeigte, daß der frisch bereitete Schwefel, wenn er nur gestoßen oder stark geschüttelt wird, schnell in die andere Form übergeht, so wurde dieses Mittel vorgezogen, um die Wärme, welche bei der Umänderung frei wird, zu bestimmen. Diese Umänderung beruht nach der allgemeinen Annahme darauf, daß bei derselben die einzelnen Theile ihre Lage verändern, so daß nach derselben ein Krystall aus einer großen Anzahl der anderen Form, der rhombenoctaëdrischen besteht.

R. Weber beobachtete nun Aehnliches bei dem Uebergang des gelben rhombischen Jodquecksilbers in rothes quadratisch krystallisiertes. Rothes durch Fällen

*) Pogg. Ann. Bd. C. S. 127.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 329.

von Sublimat mit Jodkalium erhaltenes Pulver läßt sich durch vorsichtiges Erwärmen in einem Reagenzglas so in die gelbe Modification überführen, daß das Pulver dabei weder an die Wände des Glases anschnilt, noch sich zusammenballt. Schüttet man dasselbe noch heiß in einen großen Achatmörser, so nimmt es in einigen Stunden die Zimmertemperatur an, ohne daß es eine andere Veränderung als eine leichte Röthung an der Oberfläche verräth. Wird es hierauf in ein Reagenzglas um das cylindrische Gefäß eines Thermometers geschüttet, so kann man es durch Umrühren und Zusammendrücken mit einem dicken Platin draht rasch in die rothe Modification überführen, wobei die Temperatur steigt, so daß Weber bei Anwendung von 1 Loth Jodquecksilber eine Temperaturerhöhung von 3 bis 3°,5 beobachtete.

Wir wissen, daß beim Uebergange eines Körpers aus dem starren in den tropfbar flüssigen und gasförmigen Aggregatzustand viel Wärme latent wird, was denn auch bei der Auflösung von Salzen in Wasser zc. stattfindet, und hierauf beruhen die sog. Frost- oder Kältemischungen (s. Art. Kältemischung).

Um die durch den chemischen Proceß erzeugte Wärme reibet sich an die durch den Lebensproceß bedingte Wärmeentwicklung. Man weiß, daß sehr viele, wenn nicht alle, thierischen Organismen eine Wärme besitzen, die innerhalb gewisser Grenzen unabhängig ist von der Temperatur der Umgebung. Der menschliche Körper ist keineswegs von der Temperatur der Luft, die ihn umgiebt; die Thiere der Polargegenden sind wärmer als das Eis, auf welchem sie ruhen, und die Thiere der Aequatorialgegenden kälter als die so warme Luft, welche sie athmen. Die Vögel haben nicht die Temperatur der Atmosphäre, noch die Fische die Temperatur des Wassers, in welchem sie leben. Es giebt in den thierischen Organismen ohne Zweifel eine Einrichtung, vermöge deren die Wärme derselben, trotz der verschiedenen Temperatureinflüsse der Umgebung, auf einem constanten Werth erhalten wird.

Die innere Temperatur in den verschiedenen Organen des menschlichen Organismus scheint nur sehr geringe Unterschiede darzubieten, und scheint nahe diejenige zu sein, welche man erhält, wenn man ein kleines Thermometer unter die Zunge bringt, und der Mund genau verschlossen bleibt während der ganzen Zeit, in welcher das Thermometer seinen Stand verändert. Diese Temperatur ist ungefähr 37° C. Der Zustand der Gesundheit und Krankheit, das Alter und das Klima bringen darin nur verhältnißmäßig geringe Veränderungen hervor, so daß sie wohl selbst in den sog. hitzigen Krankheiten sehr selten höher als 40° und niemals über 42° C. steigt. John Davy *) hat hierüber auf seinen Reisen viele Beobachtungen angestellt, besonders auf einer Uebersahrt von England nach der Insel Ceylon. Indem er in verschiedenen Breiten die Temperatur verschiedener Menschen von der Schiffsmannschaft beobachtete, bemerkte er, daß sie zunahm, je tiefer sie in die heißen Länder kamen. Diese Zunahme betrug jedoch nicht mehr als etwa 1°. Auch beobachtete derselbe die Temperaturen von Eingeborenen auf Ceylon, von den Hottentotten, den Negern auf Madagascar und Mozambique, von Abinos, Malayen, Cipayen, Buddhisten, welche nur Hülsenfrüchte genießen, und von Vaibals, welche nur Fleisch essen. Alle diese Temperaturen sind

*) Ann. de Chim. et Phys. T. XXII. p. 435. Edinb. Phil. Journ. N. XXVI. p. 300.

sehr wenig verschieden; die niedrigste von allen ist 35°, 8, welche zwei Hottentotten vom Cap der guten Hoffnung gehört, die höchste 38,9, welche zwei in Colombo geborenen, europäischen Kindern zukam, von denen das eine 8, das andere 12 Jahr alt war. Die nachstehende Tabelle giebt die Beobachtungen J. Davy's.

Namen der Thiere.	Temperatur nach Graden. C.	Umgebende Temperatur.	Ort der Beobachtung.
Säugethiere.			
Affe	+ 39°, 7	+ 30°	Colombo.
Das kurzgeschwänzte Schuppenthier	26, 7	27	ebend.
Fledermaus	37, 8	28	—
Dieselbe	38, 3	28	—
Vampir	37, 8	21	—
Sichhörnchen	38, 8	27	—
Gem. Ratte	38, 8	26, 5	—
Gem. Gase	37, 8	26, 5	—
Ichneumon	39, 4	27	—
Tiger	37, 2	26°, 5	Colombo.
Hund	39, 0	26, 5	Randy.
Ders.	39, 6	26, 5	ebend.
Schakal	38, 3	29	Colombo.
Gem. Katze	38, 3	15	London.
Dies.	38, 9	26	Randy.
Panther	38, 9	27	Colombo.
Pferd (arabische Race)	37, 5	26	Randy.
Lamm	39, 3 bis 40, 0	Frühling	Schottland.
Ders.	39, 5 bis 40, 0	19	Cap der gut. Hoffnung.
—	40, 0 bis 40, 5	26	Colombo.
Ziegenbock	39, 5	26	ebend.
Ziege	40, 0	26	—
Ochse	38, 9	Frühling	Edinburg.
Ders.	38, 9	26	Randy.
Hirschkuh	39, 4	25, 6	Colombo.
Schwein	40, 5	25, 6	Doombera.
Elephant.	37, 5	26, 7	Colombo.
Meerschwein	37, 8	23, 7	Im Meer 8° 23' n. Br.
Vögel.			
Weihe (Milan).	37, 2	25, 3	Colombo.
Käuzchen	40, 0	15, 6	London.
Papagei	41, 1	21, 0	Randy.
Dohle	42, 1	31, 5	Ceylon.
Gem. Drossel	42, 8	15, 5	London.
Gem. Sperling	42, 1	26, 6	Randy.
Gem. Taube	42, 1	15, 5	London.
Dies.	43, 0	25, 5	Colombo.
—	43, 3	25, 5	ebend.
Huhn (Poule de Jungles)	42, 0	25, 5	Ceylon.
Dass.	42, 5	25, 5	ebend.
Gem. Huhn	42, 5	4, 5	Edinburg.
Dass.	43, 3	25, 5	Colombo.
—	42, 2	25, 5	ebend.
Alter Hahn	43, 3	25, 5	—

Ramen der Thiere.	Temperatur nach Graden. C.	Umgebende Temperatur.	Ort der Beobachtung.
Ausgewachsener Hahn	+ 43°,9	+ 25°,5	Colombo.
Huhn von Guinea	43,9	25,5	Bei Colombo.
Truthahn	42,7	25,5	ebend.
Sturmvogel	40,3	26	Im Meer 2° 3' n. Br.
Cap-St.	40,8	15	ebend. 34° südl. Br.
Gem. Gans	41,7	25,5	Bei Colombo.
Gem. Ente	43,9	25,5	ebend.
Amphibien.			
Schildkröte	28,9	26	Im Meer 2° 27' n. Br.
Dies.	29,4	32	Colombo.
Geometr. Schildkröte.	16,9	16	Cap der gut. Hoffnung.
Dies.	30,5	26,6	Colombo.
Rana Ventricosa	25,0	26,7	Randy.
Kropfeidechse (Iguana)	29,0	27,8	Colombo.
Echslange.	31,4	27,5	ebend.
Dies.	29,2	28,1	—
—	32,2	28,3	—
Fische.			
Haifisch	25,0	23,7	Im Meer 8° 23' n. Br.
Breitfisch im Herzen	27,8	27,2	ebend. 1° 14' südl. Br.
— in den innern Mus- keln	37,2	27,2	—
Gem. Forelle	14,4	13,3	Bei Edinburgh.
Flieg. Fisch	25,5	25,3	Im Meer 6° 57' n. Br.
Mollusken.			
Gem. Auster	27,8	27,8	Bei Colombo.
Echnecke	24,6	„	Randy.
Crustaceen.			
Krebs	26,1	26,7	Colombo.
Krabbe	22,2	22,2	Gegend von Randy.
Insekten.			
Räfer (Scarabée)	25,0	24,3	Randy.
Johannidwurm	23,3	22,8	ebend.
Blatta orientalis	23,9	28,3	—
Dies.	23,9	23,3	—
Grille	22,5	16,7	Cap der gut. Hoffnung.
Wespe	24,4	23,9	Randy.
Scorpion	25,3	26,1	ebend.
Vielfuß (Julus)	25,8	26,6	—

Bei den Amphibien ist die Zahl in der Columne „Umgebende Temperatur“ die Temperatur der Luft, bei den Fischen, der gem. Auster und der Krabbe die des Meeres. — Wie man sieht, haben die Vögel die höchste Temperatur, dann kommen die Säugethiere, hierauf die Amphibien, die Fische und gewisse Insekten. Die letzte Klasse bilden die Mollusken und Crustaceen, welche ziemlich die umgebende Temperatur haben, so wie dies auch meist mit den Würmern der Fall ist, mit denen man Beobachtungen angestellt hat.

Bei einem Fische (*Pelamys Sarda*), welcher im Meer von Narmora gefangen war, fand J. Davy *) rücksichtlich des kälteren Wassers in der Tiefe eine Temperatur von etwa 6°, 6 C. über die der Umgebung.

Robili und Melloni **) benutzten zu Versuchen über die Eigenwärme der Insekten einen Thermomultiplikator; den beiden Enden der Thermosäule gegenüber waren kleine metallene Hohlspiegel aufgestellt, und in einem derselben befanden sich die zu untersuchenden Insekten frei beweglich in einem feinen Drahtnetz. So konnte, falls durch den Einfluß der Insekten eine Temperaturdifferenz beider Enden der Thermosäule bewirkt wurde, aus der Ablenkung der Magnetnadel auf die Wärmeentwicklung dieser Thiere geschlossen werden. Sie fanden, daß die Temperatur der Insekten etwas höher ist als die der umgebenden Luft, ein Resultat, zu dem auch Davy im Allgemeinen, jedoch mit mehreren Ausnahmen gekommen war. Sie zogen 40 Species aus allen Klassen in den Versuch. Beim Vergleiche der Resultate, welche sie bei der Ordnung der Lepidopteren (Schmetterlinge) erhielten, fanden sie das Gesetz, daß die Raupen immer eine höhere Temperatur als die Puppen und Schmetterlinge besitzen, was man wohl mit Recht auf das entwickeltere Respirationssystem der Raupen bezogen hat. — Eine verhältnismäßig hohe Temperatur findet man bei den Bienen. J. Hunter ***) fand bei einer äußeren Temperatur von 12°, 25 C. in einem Bienenkorbe 27°, 25, und bei 1°, 6 (äußerer Temperatur) 22°, 75. Freilich kommt hierbei in Betracht, daß die Bienen hier in großen Mengen vereint sind und auch nach außen hin keine starke Ableitung stattfindet. Nach Newport ****) hängt die von den Insekten entwickelte Wärmemenge von ihrer Nahrung ab, so daß sie um so mehr abnimmt, je mehr das Thier hungert. —

Douville *****) zieht aus seinen Beobachtungen über die Blutwärme der Neger den Schluß, daß bei jungen Negern das Blut wärmer ist als bei alten, und bei diesen wärmer als bei Weißen. Das Thermometer wurde beobachtet, indem es von der Hand umschlossen war. Die Weißen und Neger zeigten auf diese Weise einen Temperaturunterschied von etwa 2° R.

Becquerel und Brechet †) untersuchten die thierische Wärme mittelst eines Thermomultiplikators. Zwei männliche Personen, von 20 Jahren und eine ältere von 55 Jahren zeigten eine mittlere Temperatur der Muskeln von 36°, 77 C., in Uebereinstimmung mit der bei verschiedenen Thieren gefundenen. Das Zellgewebe zeigte eine etwas geringere Temperatur, und der Unterschied, welcher aus der Wärmeabgabe an die äußere Umgebung resultirte, betrug ungefähr 1°, 25 bis höchstens 2° C. Bei verschiedenen Hunden war die mittlere Temperatur der Muskeln 38°, 3 und stieg nie bis zu 39°, 48.

J. Davy ††) stellt noch folgende Beobachtungen über die Wärme ver-

*) Phil. Trans. f. 1844. P. I.

**) Ann. de Chim. et Phys. T. XLVIII. p. 198. Pogg. Ann. Bd. XXVII. S. 446.

*** Phil. Trans. 1792. p. 671.

**** L'Institut. 5me Ann. N. 241. p. 386. Phil. Trans. 1836. P. II. p. 529., Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. LXVI. p. 189.

***** Journ. de Chim. médic. VIIIme Ann. Fevr. p. 97.

†) Annal. de Sciences naturelles. T. III. 1835. p. 257.

††) Phil. Trans. f. 1844. P. I. Gehler's physf. Wörterb. Bd. XI. S. 660.

schiedener Personen an, die sie zu verschiedenen Zeiten zeigten. Ein 88 Jahr alter Mann gab im Juni die Temperatur $37^{\circ},49$ C., im Februar bei Schneewetter und 0° C. äußerer Temperatur, nur $35^{\circ},56$. Die Frau dieses Mannes, 76 Jahr alt, hatte im Juli die Temperatur $36^{\circ},94$, im October $36^{\circ},67$ und im Februar bei vermehrtem Pulse $37^{\circ},22$. Ein 89 Jahr alter Mann, der noch in die Kirche gehen konnte, zeigte im October $36^{\circ},67$, im Februar, gleich nach dem Essen, $37^{\circ},49$. Ein gegen 100 Jahr alter Mann zu Ceylon zeigte, dünn bekleidet und bei $22^{\circ},23$ äußerer Temperatur nur 35° , während ein 12 jähriger Knabe $36^{\circ},67$ hatte. — In einer Fabrik, wo die Temperatur durch Luft und Dampf auf $33^{\circ},34$ C. gehalten wurde, betrug die Wärme unter der Zunge bei einem Manne nach 6 Stunden Arbeit 38° , bei einem anderen $37^{\circ},78$; bei einer jungen Frau in einem Zimmer von $22^{\circ},78$ betrug die Wärme $37^{\circ},22$, bei einer anderen in einem Zimmer von $15^{\circ},56$ nur $36^{\circ},38$. Endlich beobachtete Davy auch noch ein Individuum von mittlerem Alter und guter Gesundheit zu verschiedenen Zeiten in Constantinopel. Die Wärme desselben variierte nach der äußeren Temperatur, die von $-0^{\circ},55$ bis $34^{\circ},45$ sich veränderte, zwischen $36^{\circ},11$ und $37^{\circ},5$. Versuche über den Einfluß der Bewegung führten zu dem Resultate, daß in Folge der Bewegung die Extremitäten wärmer werden und die Wärme sich mehr nach außen verbreitet, die innere Wärme aber, unter der Zunge gemessen, keine Veränderung erfährt.

Es ist bekannt, daß der Mensch bei zweckmäßiger Bekleidung sehr hohe Grade der Kälte und Wärme auszuhalten vermag. Captain Barry *) erzählt, daß die Schiffmannschaft während des Winteraufenthaltes auf der Insel Melville bei Bewegung in ruhiger und trockner Luft eine Temperatur von $-47^{\circ},5$ C. leicht habe ertragen können; ging aber Jemand bei solcher Kälte dem schwächsten Winde entgegen, so empfand er ein heißendes Gefühl im ganzen Gesichte, dem sich bald ein heftiger Schmerz mitten auf der Stirn hinzugesellte. Ein längerer Aufenthalt in dieser Kälte bewirkte einen Zustand der Betäubung, der ganz dem der Veranschung glich.

De la Roche und Berger **) blickten in trockenen Stuben und mit einem leinenen Schirme gegen die strahlende Wärme geschützt 8 Minuten lang eine Temperatur von $87^{\circ},5$ bis 90° aus. Sie geriethen in einen starken Schweiß und hatten ein solches Gefühl von Schwäche, daß sie sich aus dem Zimmer entfernen mußten. Auch ertrugen sie später eine kurze Zeit hindurch eine Hitze von $109^{\circ},35$ C. Der Puls war dabei so schnell, daß sie ihn nicht zählen konnten, doch befanden sie sich nach 45 Minuten wieder in ihrem gewöhnlichen Zustand. Hitze, die durch Wasserdampf erzeugt war, erschien ihnen viel unerträglicher als trockne. Von einem gewissen Martinez wird erzählt ***), daß er 14 Minuten in einem Ofen, worin das Thermometer 170° C. anzeigte, blieb. Seinen Kopf hatte er mit vielem Wollenzeug bekleidet. Nach dem Aufenthalt im Ofen stürzte er sich in kaltes Wasser. — Kleinere Thiere, einer Temperatur von 56 bis 62°

*) Zweite Reise, deutsche Uebers. S. 187 u. 248.

**) Expériences sur les effets qu'une forte chaleur produit dans l'économie animale. Par. 1806. Journ. de Phys. T. LXIII. p. 207; LXXI. p. 289. Nicholson's Journ. N. 72, Bibl. Brit. T. XXXVI. p. 142.

***) La Clinique. 1828. N. 82.

ausgesetzt, starben und zeigten dabei meist eine höhere Temperatur als die der Umgebung war.

Man erkennt übrigens leicht, daß gerade die Schweißbildung und die Abdunstung der Feuchtigkeit vom Körper diesen letzteren vorzugsweise befähigt, höhere Grade der Hitze auszuhalten, weil eben die Verdunstung eine Abkühlung des Körpers zur Folge hat.

Ein bedeutendes Heruntergehen der Temperatur unter die normale thierische Wärme findet man bei den Winterschläfern, bei denen das Athmen auf ein gewisses Minimum reducirt ist. Marshall Hall *) beobachtete ein freies Thermometer, das unter dem Pauche einer in den Winterschlaf verfallenen Fledermaus angebracht war, die durch schlechte Wärmeleiter von der äußeren Luft abgeschlossen war. Das Thier nahm eine Temperatur an, die mit der der Umgebung fast übereinstimmte. Versuche mit der Haselmaus (*Myoxus Muscardinus*) stellte P. Foriet **) an. Hatte dieselbe Nahrungsmittel zu sich genommen, so nahm ihr hierdurch vermehrtes Körpergewicht während des Schlafes allmählig wieder ab, und beim Beginn des Schlafes verminderte sich mit der abnehmenden Respiration auch alsbald die Wärme; je tiefer diese herabging, desto seltener wurde auch die Respiration.

Den Ursprung der thierischen Wärme hat man sowohl auf mechanischem als auch auf chemischem Wege zu erklären gesucht. In ersterer Beziehung dachte man an eine Reibung des Blutes an den Wandungen der Gefäße. So Boerhave ***), Martine ****), van Swinten *****) und R. Douglas †). Gegen diese Ansicht erklärten sich Hunter ††), Brisson †††) und v. Haller ††††). Von der chemischen Seite her dachte man zunächst an Gährungen und Gärungsverweizungen, herbeigeführt durch die Mischung der Säfte und des Blutes. So unter anderen Willis †††††), v. Helmont *†) und Sylvius **†). Eine bestimmtere Ansicht, die den Ursprung der thierischen Wärme aus dem Einathmen der Luft ableitete, stellte Aldair Crawford ***†) auf. Doch wurde der Weg zu einer richtigen Erklärung erst durch Lavoisier's antiphlogistische Theorie angebahnt. Nach Lavoisier ****†) ist die Quelle der thierischen Wärme der Sauerstoff der atmosphärischen Luft, und zwar dadurch, daß er sich mit dem Kohlenstoff in den

*) Phil. Trans. 1832. p. 338 ff.

**) Expériences sur le sommeil léthargique du Muscardin. Lyon 1844.

***) Institut. rei med.

****) De animalibus simil. et de animalium calore Libb. II. Lond. 1740

*****) Comment. in Boerhavi Aphor. P. II. §. 675.

†) Essay sur la génération de la chaleur des animaux. Trad. de l'Angl. Par. 1781.

††) Phil. Trans. T. LXV. P. II. n. 43.

†††) Dict. rais. de Phys. Art. chaleur anim.

††††) De partium corp. hum. fabrica et functionibus. Bernae et Laus. 1778. 8. T. IV. L. VI. sect. 3. §. 8.

†††††) De fermentatione c. 5. De febribus cap. 2.

*†) Opera omnia 1682. p. 734.

**†) Disput. med. Disp. X. §. 34. — Sympson's pragmatische Geschichte d. Arzneikunde. Th. IV. Abschn. 13.

***†) Experiments and Observations on animal heat. Lond. 1779, rec. edit. 1788. Versuche und Beobachtungen über thierische Wärme und die Entzündung brennbarer Körper. Leipzig 1788, 2. vermehrte Aufl. durch v. Grell. Leipzig. 1789.

****†) Mém. de l'Acad. 1777. p. 390.

Lungen zu Kohlensäure verbindet. Zur Bestätigung stellte er mit Laplace einen Versuch mittelst des Calorimeters (s. d. Art.) an, indem man die Wärme bestimmte, welche ein Meerschweinchen während der Bildung von 224 Gr. Kohlensäure abgab, die man dann mit der Wärmemenge verglich, welche durch Verbrennung von Kohle bis zur Bildung einer gleichen Quantität Kohlensäure entwickelt wurde. Die vom Thiere gelieferte Wärmemenge vermochte 13 Unzen Eis, die durch Verbrennung der Kohle entwickelte nur 10,4 U. zu schmelzen. Es wurde hiernach angenommen, daß die Erzeugung der thierischen Wärme mit dem Athmungsproceß in nächster Beziehung stehe und daß der letztere als ein Verbrennungsproceß zu betrachten sei. Weiter fortgesetzt wurden die hierher gehörigen Versuche durch Dulong *). Das Thier, welches in den Versuch gezogen werden soll, wird eingeschlossen in einen Kasten von dünnem Kupferblech, welcher in eine große Menge Wasser gesenkt ist. Die Luft, welche es zum Athmen nöthig hat, wird durch einen Gasometer geliefert; die Producte der Athmung werden nach außen abgeleitet, sie treten mit der Temperatur der Wassermasse aus, und werden gesammelt und analysirt. Der Versuch dauert etwa zwei Stunden, und aus der Temperaturerhöhung des Wassers, welches die vom Thiere abgegebene Wärme aufnimmt, schließt man, nach Anbringung aller nöthigen Correctionen, wie groß die Wärmemenge ist, die das Thier während des Versuches geliefert hat. Dulong bestimmte diese Wärmequantitäten für verschiedene junge und ausgewachsene, fleisch- und pflanzenfressende Thiere. Die Luft, welche zum Athmen gedient hat, ist auf dieselbe Weise umgeändert, wie diejenige, die zur Verbrennung gedient hat. Nachdem Dulong die Wärmequantität bestimmt hatte, welche ein Thier in einer gewissen Zeit liefert, suchte er auch die durch die Athmung erzeugte Wärmemenge zu berechnen. Die dem Thiere zum Athmen gelieferte Luft wird vom Gasometer gemessen, und die Veränderungen, welche sie erährt, werden, wie gesagt, durch Analyse bestimmt. Dieselben sind folgende: 1) sie tritt feuchter aus; 2) ein Theil des Sauerstoffes ist durch Kohlensäure ersetzt; 3) ein anderer Theil des Sauerstoffes ist verschwunden; 4) das Stickstoffgas erleidet nur geringe Veränderungen. Vorausgesetzt nun, daß der Sauerstoff, welcher in Gestalt von Kohlensäure austritt, sich wirklich während des Athmens mit Kohlenstoff verbunden hat, oder nach der Absorption, so kann man die daraus sich ergebende Wärmemenge berechnen. Angenommen ferner, daß sich die verschwundene Quantität Sauerstoff mit Wasserstoff zur Bildung von Wasser verbunden hat, so kann man gleichfalls die daraus folgende Wärmequantität berechnen. Die Summe dieser beiden Wärmequantitäten stellt gewiß alle Wärme vor, welche durch die Athmung erzeugt werden kann. Nun giebt aber diese Summe den Versuchen nach in gewissen Fällen $\frac{9}{10}$ der von dem Thiere wirklich abgegebenen Wärmemenge, in anderen Fällen nur $\frac{8}{10}$ derselben. Nach diesem von Dulong gefundenen Resultate schien es nun, als müsse es in dem Thiere noch eine andere Wärmequelle als die Athmung (oder als die Verbindung des Kohlen- und Wasserstoffes im Thiere mit dem Sauerstoff der Atmosphäre) geben, die in den sonstigen verschiedenen Ausscheidungen, die in jedem Augenblicke vor sich gehen, oder in der bald mehr, bald weniger bedeutenden Thätigkeit des Nervensystems gesucht wurde. Indessen

*) Schweigger's Journ. Th. XXXVIII. S. 808; Th. XLV. S. 47. Ann. de Chim. et Phys. 3me Sér. T. 1. p. 440.

machte Liebig darauf aufmerksam, daß die große Temperaturdifferenz zwischen dem Thiere, das dem beschriebenen Versuche unterworfen war, und dem umgebenden Wasser einen größeren Wärmeverlust des Thieres herbeiführte, und daß das letztere wegen Mangel an freier Bewegung verhindert war, den Proceß des Athmens so zu beschleunigen, wie es nöthig gewesen wäre, um bei der kalten Umgebung nicht zu frieren.

Beiläufig sei hier noch erwähnt, daß Desprez *) durch seine Untersuchungen über die thierische Wärme im Wesentlichen zu demselben Resultat wie Dulong gelangte.

Nach Liebig **) ist die Quelle der thierischen Wärme allerdings die Verbindung des Kohlenstoffs und Wasserstoffs im thierischen Körper mit dem Sauerstoff der Atmosphäre zu Kohlensäure und Wasser, welche letztere durch das Athmen und die Hautausdünstung (das Wasser zum Theil auch mit dem Urin) ausgeschieden werden, während frischer Sauerstoff aufgenommen wird. Die so entwickelte Wärme wird im Ganzen dieselbe sein, als wenn die genannten Stoffe in freier Luft verbrannt würden. Durch die Nahrungsmittel erhält der Körper aber an Kohlenstoff und Wasserstoff wieder, was er beim Athmen in der Form von Kohlensäure und Wasserdunst abgegeben hat. Und zu diesem Ersatze sind diejenigen Nahrungsmittel vorzugsweise geeignet, die wegen Mangel an Stickstoff kein Fleisch zu bilden vermögen, aber reich an Kohlen- und Wasserstoff sind, wie Zucker, Gummi, Amylon, Fett, Weingeist u. s. w. Dieselben dienen besonders als sog. Respirationsmaterie, d. h. zur Unterhaltung des Athmungsprocesses. In kalter (dichter) Luft wird mehr Sauerstoff eingeathmet und auch mehr Wärme erzeugt, weil mehr Wasser- und Kohlenstoff in Wasser und Kohlensäure umgewandelt wird. Darum muß aber auch dem Körper in einer kalten Umgebung mehr Nahrung zugeführt werden, um einen größeren Wärmeeffect erzielen zu können; daher denn auch der Bewohner der kalten Zone mehr kohlen- und wasserstoffhaltige Speise zu sich nimmt als der Bewohner der heißen Zone. Und so ist es auch ersichtlich, daß Bewegung und sonstige körperliche Anstrengungen, die einen rascheren Stoffwechsel und eine größere Wärmeentwicklung zur Folge haben, auch eine größere Gßlust herbeiführen müssen. Hiernach entspricht der Umwandlung der Nahrungsmittel während des Stoffwechsels und der hierbei entwickelten Wärmemenge eine bestimmte mechanische Arbeit, die mit dem mechanischen Aequivalent der Wärmeeinheit in einer bestimmten Beziehung steht.

Ruhe und eine warme Umgebung sind gewissermaßen als ein Aequivalent für Speise zu betrachten. Wird einem Thier die Nahrung entzogen, so ist es zuerst das Fett, welches als Respirationsmaterie oder zur Unterhaltung des Athmungsprocesses verwendet wird.

Den Pflanzen hat man eine eigenthümliche Wärme bald zu-, bald abgesprochen. Es läßt sich wohl annehmen, daß die in denselben vorgehenden Molecularveränderungen von einer Wärmeentwicklung begleitet sind, allein es ist auch zu erwarten, daß der Lebensproceß der Pflanzen zu einer so constanten Eigenwärme wie in thierischen Organismen nicht führen kann. Auf Veranlassung

*) Ann. de Chim. et Phys. T. XXVI. p. 337.

**) Annalen der Chemie und Pharmacie, Bd. XLI. S. 189.

einiger Beobachtungen zu Genf *), nach welchen die mittlere Temperatur eines dafelbst befindlichen Kastanienbaumes das ganze Jahr hindurch etwas geringer war als die der umgebenden Luft, stellte Schübler **) eine Versuchssreihe über die Temperatur der Vegetabilien an. Man senkte in die Bäume (Laub- und Nadelhölzer) an der Nordseite Thermometer bis in das Centrum ein, beobachtete dieselben zu verschiedenen Tageszeiten und verglich sie mit correspondirenden, in freier Luft hängenden. Die Bäume zeigten in allen Jahreszeiten zur Zeit des Sonnenaufganges eine höhere Temperatur als ihre Umgebung, zur Mittagszeit jedoch eine niedrigere; dieselben zeigten die täglichen Temperaturschwankungen der Luft um so weniger, je tiefer und je näher den Wurzeln die Thermometer eingesenkt waren, oder je schneller und stärker die täglichen Wechsel erfolgten. Die Temperaturen beider (der Bäume und Luft) fallen im Ganzen zweimal täglich zusammen und sind einander im ganzen Jahr gleich, bis auf einen unbedeutenden Unterschied (0,1 bis 0,4 C.), der wahrscheinlich von Beobachtungsfehlern oder sonstigen Zufälligkeiten herrührt. Hiernach scheint nun den Vegetabilien eine eigenthümliche Wärmeproduction nicht zuzukommen und die Abweichung ihrer Temperatur von der Temperatur der sie umgebenden Luft nur die Folge der schlechteren Wärmeleitung, des Aufsteigens des Saftes und der Ausdünstung zu sein. Mit Rücksicht auf die Wärmeleitung und die starke Verdunstung erklärt es sich, daß die Temperatur der Bäume im Innern meist etwas tiefer ist als die der äußeren Luft. Daß die Bäume im Frühling, besonders im März, sich etwas wärmer als ihre Umgebung zeigten, suchte man aus der höheren Temperatur des aus tieferen Schichten in ihnen aufsteigenden Saftes abzuleiten, wogegen jedoch nach Wunder ***), die wirklich dann noch stattfindende größere Kälte des Bodens streitet, so daß diese Thatsache nicht sogleich anders als aus einer eigenthümlichen, durch die höhere Lebensthätigkeit beim Aufsteigen der Säfte herbeigeführten Wärmeproduction zu erklären sei.

Wöppert ****) glaubte auf Grund seiner zahlreichen Beobachtungen den lebenden Pflanzen jede Art eigenthümlicher Wärmeentwicklung absprechen zu müssen.

Dutrochet *****) benutzte eine thermoelektrische Kette zu hierher gehörigen Versuchen. Derselbe nahm Stengel von lebenden und von ebenso dicken, durch 5 Minuten langes Eintauchen in 50° C. heißes Wasser getödteten Pflanzen, welche zur Vermeidung einer Temperaturveränderung durch ungleiche Verdunstungskälte nahe bei einander unter einer Glasglocke angebracht waren, deren Luft durch Wasser, welches vom Boden der Glocke aus verdunstete, so mit Wasserdampf gesättigt war, daß die Ausdünstung sowohl der lebenden als auch der todtten Pflanze aufgehoben war. Die eine Löffspitze eines thermoelektrischen Elements wurde nun in die noch vegetirende, die andere Löffspitze in die getödtete Pflanze so tief eingeführt,

*) Bibl. Brit. T. I. Schweigger's Journ. Th. II. S. 189. Landwirthsch. Blätter von Hofwyl. Marau 1817. Hft. V. S. 5.

**) Beobachtungen über die Temperatur der Vegetabilien u. von F. O. Schübler und H. A. Haller, Tüb. 1826. Pogg. Ann. Bd. X. S. 581. W. Reuffer, Inaugural Dissert. Tüb. 1829.

***)ehler's phys. Wörterb. Bd. X. S. 348.

****) Ueber die Wärmeentwicklung in Pflanzen u. Breslau 1830.

*****) L'Institut. 7me Ann. N. 308. Edinb. New Phil. Journ. N. LIV. p. 103.

daß die Röhrtelle sich gerade in der Aze derselben befand. Nach diesen Versuchen haben alle Pflanzen einen gewissen Grad eigener Lebenswärme ($0^{\circ},25$ bis 1° C. und auch darüber). Die Wärmeerzeugung findet in den grünen Theilen der Pflanzen statt, erreicht von Morgens 10 Uhr bis etwa Nachmittags 3 Uhr ihr Maximum und sinkt dann wieder. Versuche, welche van Beek *) mit denselben Apparate anstellte, führten im Wesentlichen zu denselben Resultate. Bäume wurden jedoch auf diese Weise nicht von ihm untersucht. Nach Dutrochet wird den Pflanzen ihre durch den Lebensproceß entwickelte Wärme größtentheils durch die Verdunstung entzogen, so daß ihre Temperatur unter die der Umgebung herabgeht.

Verschiedene Beobachter fanden eine ungewöhnliche Wärmeproduction in den Blüthen einiger Pflanzen zur Zeit des Ausblühens oder der Befruchtung **). So Lamarck *** an den Kolben des *arum italicum*; Senebier ****) senkte in die aufblühenden Kolben der *Arum*-Arten die Kugel eines feinen Thermometers und fand, daß die Wärme von 3 Uhr Nachmittags an stieg, sich über die Temperatur der äußeren Luft erhob und zwischen 6 bis 8 Uhr ihr Maximum von $8^{\circ},75$ erreichte. Auch Hubert beobachtete eine sehr merkwürdige Wärmeentwicklung auf der Insel Bourbon an den Blüthenkolben dort häufig vorkommender *Arum*-Arten *****). Saussure beobachtete eine solche Wärmeentwicklung bei vier Exemplaren des *arum maculatum*. G. Brolin und W. H. de Vries †) beobachteten eine höhere Wärmeentwicklung bei dem Spadix einer *colocasia odora* im April 1835, und auch Göppert ††) bemerkte bei *arum dracunculoides* eine bis $8^{\circ},75$ C. steigende höhere Temperatur, als die der Umgebung war; dieselbe trat in der 17. Stunde nach der Entwicklung der Blume ein, dauerte 32 bis 36 Stunden und hatte ihren Hauptsitz in den Staubgefäßen. Van Beek und Vergma †††) fanden vermittelst einer thermoelektrischen Vorrichtung im Spadix der *colocasia odora* eine Temperatur von 43° C., während die Temperatur der Umgebung nur $= 21^{\circ}$ C. war, und Dutrochet ††††) beobachtete mittelst eines thermoelektrischen Elements, daß der Spadix von *arum maculatum* eine Wärmezunahme zeigt, die etwa zwei Tage vor seinem Öffnen anfängt, beständig zunimmt und im Augenblick des Öffnens ihr Maximum von 11° bis 12° C. über die Umgebung erreicht; dieses dauert ungefähr zwei Stunden, worauf die Temperatur abnimmt und nach etwa zwölf Stunden verschwindet. Inzwischen sollen sowohl die männlichen als auch die weiblichen Blüthentheile dieser Pflanzen Wärme entwickeln; sie ist am Tage größer als während der Nacht, und verschwindet bald in den folgenden Nächten, so daß sie nur in der ersten Nacht bedeutend hervortritt. —

*) Compt. rend. 1840. N. I. Jan. 6. u. 13. Edinb. New Phil. Journ. N. XLVI. p. 331.

**) Vergl. Göppert a. a. D. S. 178.

*** Eencycl. method. T. III. p. 9. Grundlehren der Anatomie und Physiologie der Pflanzen. Göt. 1807. S. 229.

****) Physiologie végétale T. III. p. 313.

*****) Bory de St. Vincent, voyage dans les quatre principales îles d'Afrique. 3. T. 8. Par. 1804. T. II. p. 68. Journ. de Phys. T. LIX. p. 280.

†) Tijdschrift voor Natuurlijke Geschiedenis en Physiologie. Amst. 1835. T. II. p. 396.

††) Götting's Notizen. Th. XLIX. S. 136.

†††) L'Institut. 1839. N. 275. p. 111.

††††) L'Institut. 1839. N. 280. p. 151. N. 281. p. 158.

Da nach Saussure *) in den Blüthen während der Thätigkeit ihrer Befruchtung eine bedeutende Absorption von Sauerstoff und eine Verwandlung desselben in Kohlenäure stattfindet, so kann hierin die vermehrte Wärmeentwicklung dieser Pflanzentheile ihre Ursache haben. —

Eine andere Wärmequelle ist der elektrische Strom, worüber wir auf Art. Strom, elektrischer S. 191 ff. verweisen. Wir erwähnen hier nur noch einige Beobachtungen Voggenдорff's **) über die Wärmewirkung der Inductionsfunken. Bringt man ein empfindliches Quecksilberthermometer in oder vor den Funkenstrom des Inductionsapparates, so bemerkt man sogleich ein bedeutendes Steigen desselben, das zu der geringen Wärmeentwicklung im Drahte selbst einen auffallenden Gegensatz bildet. Dieses Steigen ist, bei Gleichheit aller übrigen Umstände, verschieden nach der Natur der Metalle oder Stoffe, von welchen die Funken ausströmen. Bei einer Versuchsreihe, bei welcher das Thermometer mit der Axe seines cylindrischen Behälters, der bei 11,0^{mm} Länge 3,5^{mm} im Durchmesser hielt, zwischen den Funken gebenden Spitzen stand, und zwar auf jeder Seite um 0,5^{mm} von ihnen entfernt, betrug das Steigen innerhalb einer Minute, als die Spitzen bestanden aus:

Platin	.	.	.	.	.	18 $\frac{1}{2}$ ° C.
Blei	.	.	.	.	.	30 $\frac{1}{2}$ "
Zinn	.	.	.	.	.	33 "
Antimon	.	.	.	.	.	34 $\frac{1}{4}$ "
Zink	.	.	.	.	.	35 "
Wismuth	.	.	.	.	.	37 "

Stärker noch war der Unterschied, als der Abstand der Spitzen nur 1 $\frac{1}{2}$ Millim. betrug und sie beide vom Thermometer berührt wurden.

Auch die Ungleichheit in der Temperatur der beiden Pole des Inductionsdrahtes (s. Strom, elektr. S. 195 ff.) ließ sich deutlich durch das Thermometer nachweisen. Bei einem gegenseitigen Abstand der Polspitzen von 4,5^{mm} stieg es an der negativen stets 6 bis 7° höher in 1 Minute als an der positiven, wenn die Poldrähte beide aus Zink oder Zinn bestanden und etwa 1 Millim. dick waren.

Nimmt man zu den Poldrähten zwei verschiedene Metalle, so steigt das mitten im Funkenstrom aufgehängte Thermometer am meisten, wenn das leicht schmelz- und verdampfbare Metall sich am negativen Pol befindet.

Die höhere Temperatur der Funken bei den leicht schmelz- und verdampfbaren Metallen scheint Folge der Verflüchtigung von Theilchen derselben zu sein, welche man auch an dem im Funkenstrom hängenden Thermometer unzweideutig erkennt, indem es, bei Anwendung von Zink, Zinn, Wismuth und Blei, an der positiven Seite weiß, und an der negativen (wenigstens bei Wismuth und Blei) braun beschlägt. Diese Verflüchtigung scheint auch, indem sie eine bessere Leitung zwischen den Polen herstellt, einen reichlicheren Uebergang der Funken und damit eine größere Stromstärke hervorzubringen.

Ähnlich wie mit den Funken in freier Luft, verhält es sich mit der leuchtenden Entladung im partiellen Vacuo. Die Temperaturerhöhung dabei ist sehr

*) Ann. de Chim. et Phys. T. XXI. p. 279.

**) Ann. Bd. XCIV. S. 632.

merklich, obwohl nicht so groß wie bei den Funken. Mit zunehmender Luftverdünnung nimmt sie, ungeachtet des Wachstums der Stromstärke, ab, weil der Widerstand verringert wird. Auch im partiellen Vacuo erhält sich die Temperaturungleichheit der Pole, obwohl sie nicht so groß zu sein scheint wie in freier Luft.

Mehrere der angeführten Erscheinungen deuten unverkennbar darauf hin, daß die elektrischen Funken stets glühende Körpertheilchen enthalten, ja, wie Poggendorff bemerkt, ohne dieselben im Grunde gar nicht gedacht werden können.

In Bezug auf die Wärme, welche durch Einwirkung eines Magnets auf bewegte Körper erzeugt wird, erinnern wir hier an einen Versuch von L. Foucault *). Es ist bekannt, daß ein Magnet in der Masse eines Leiters, der sich in seiner Nähe bewegt, elektrische Ströme inducirt (s. Art. Induction, elektrische, Bd. IV. S. 8, 14 ff.), vermöge deren zwischen ihm und dem Magneten eine mechanische Wechselwirkung stattfindet, die unter Umständen den bewegten Leiter zur Ruhe bringen kann. Foucault brachte nun einen bronzenen Kreisel, der durch ein Getriebe mit einem Räderwerk verbunden war, und durch das letztere eine Geschwindigkeit von 150 bis 200 Umläufen in der Secunde erhalten konnte, theilweise zwischen die Pole eines starken Elektromagnets. Diese waren, um die Wirksamkeit des Magnets zu erhöhen, durch zwei den Drahtrollen hinzugefügte Stüde weichen Eisens verlängert und in der Nähe des rotirenden Kreissels concentrirt. Schnellte man nun den Kreisel mit voller Geschwindigkeit herum, so wurde die Bewegung durch den von 6 Bunsen'schen Elementen erregten Elektromagnet in einigen Secunden wie durch einen unsichtbaren Baum vernichtet. Dies war ein bekannter Arago'scher, von Faraday auf die Gesetze der Inductionselektricität zurückgeführter Versuch. Als man aber nun eine Handhabe drehte, um dem Kreisel die verlorene Bewegung zu ersetzen, so nöthigte der Widerstand, welchen man erfuhr, eine gewisse Arbeit auszuführen, deren Aequivalent, wie Foucault bemerkt, im Innern des rotirenden Körpers als Wärme angehäuft erschien. Mittels eines in die Masse gesteckten Thermometers konnte man schrittweise die allmähliche Temperaturerhöhung verfolgen. Als z. B. die Temperatur in der Umgebung des Apparates 16°C. war, sah man das Thermometer successiv auf 20, 25, 30 und 34°C. steigen. Daraus war die Wärme mittelst der bloßen Hand fühlbar. Foucault sah hierin ein sonderbares Beispiel von Umwandlung der Arbeit in Wärme und glaubte, daß die Rücksicht auf die im Innern des bewegten Körpers einander folgenden Inductionsströme nur sehr mühsam eine Idee von der erzeugten Wärme geben möchte. Poggendorff bemerkte jedoch hiergegen, daß zwar die erregte Wärmemenge hier ohne Zweifel in einem gewissen festen Verhältnisse zur aufgewendeten Arbeit stehen müsse, daß aber dieser Satz sich nach der gewöhnlichen Ansicht, wonach die Wärme eine Folge der erregten elektrischen Ströme ist und die Arbeit die Rückwirkung dieser Ströme auf den Magnet zu überwinden hat, für jegliche Leitungsfähigkeit der rotirenden Masse mit Nothwendigkeit und Klarheit ergebe. Eine wirklich neue Seite wäre diesem Versuche nur durch die Nachweisung abzugewinnen, daß, was als wahrscheinlich anzunehmen wäre, die auf diesem Wege erregte Wärme gleich derjenigen sei, welche man auf irgend einem anderen Wege, z. B. durch Reibung, mit demselben Aufwand an Arbeit hervorbringen könne.

*) Compt. rend. T. XLI. p. 430. Pogg. Ann. Bd. XCVI. S. 622.

Theoretische Ansicht der Wärmeerscheinungen. In älterer Zeit betrachtete man das Feuer als ein Element, als die feinste Substanz und hiermit zugleich als Ursache aller Wärmeerscheinungen *). Später sprach man von einer eigenen, überall in den Körpern verbreiteten Materie, welche die Wärmeerscheinungen bedinge. So Christ. Wolff **); auch Nollet ***), Boerhave ****), L. Euler *****), P. Wuffenbroek †) und viele Andere nahmen einen eigenthümlichen Wärmestoff an, den man sich als mehr oder weniger materiell dachte. Mit dieser Annahme vermengte sich dann von der chemischen Seite her die Vorstellung des sog. Phlogiston, worunter man nach G. Stahl ††) einen eigenthümlichen, an eine zarte Erde gebundenen Brennstoff verstand, der in den verbrennlichen Körpern enthalten sein sollte. Das Verbrennen wurde hiernach auf ein Freiwerden dieses Stoffes, des Phlogiston, zurückgeführt. Die Existenz desselben wurde hartnäckig behauptet, selbst dann noch als schon Lavoisier †††) seine antiphlogistische Theorie aufgestellt hatte. So legte S. A. G. Gren ††††), um die Thatsache zu erklären, daß verbrannte Körper eine Vermehrung ihres Gewichtes erfahren, dem Phlogiston eine negative Schwere bei. Nach Macquer *†) soll die Lichtmaterie zugleich die Grundlage der Wärme sein, nachdem sie sich nämlich mit dem Phlogiston verbunden hat, wo sie dann als eigenthümlicher ätherischer Stoff (Feuer) die Eigenschaft der Repulsion im Streben nach Ausdehnung und Flüssigkeit beibehält, während die an die Körper gebundene Wärme durch Erschütterung und Bewegung der kleinsten Theilchen frei wird. Pott *††) und Wallerius *†††) betrachteten das Feuer als eine Verbindung von Licht und einem feinen Stoffe, entweder dem Phlogiston selbst oder einer Grundlage desselben. Auch A. de Luc *††††) war ein Gegner der antiphlogistischen Theorie, und selbst Richter *†††††), der sich sonst Verdienste um die Stöchiometrie erworben, suchte diese Theorie zu bekämpfen. Der Verbrennungsproceß weist nach ihm auf eine doppelte Wapleerwandtschaft hin; brennbare Körper bestehen aus einer säurefähigen Grundlage und aus Phlogiston, welches letztere mit Wärme verbunden als Licht zum Vorschein kommt. Die Erscheinung des Lichtes beim Verbrennen deute aber noch auf eine andere Materie hin, die in Verbindung mit Wärme als

*) Cosatus, dissert. physica de igne. Frank. et Lips. 1688.

**) Nützliche Versuche Th. II. Cap. IX. §. 206.

***) Leçons de Phys. Lec. XIII. sect. 1.

****) De igne. In Elem. Chem. T. I. p. 116.

*****) Dissert. de igne. In Recueil des pièces qui ont remporté le prix. 1738.

†) Epitome elementorum physico-mathematicorum. L. Bat. 1726. p. 227.

††) Zufällige Gedanken und nützliche Bedenken über d. Streit von dem sog. Sulphure. Halle 1718. Experimenta observ. animad. CCC. Berol. 1731.

†††) Mém. de l'Acad. 1777. Traité élément. de Chimie. Par. 1780.

††††) Entnem. Handbuch der ges. Chemie. Halle 1787. Grundriß der Naturlehre. Halle 1788. 8. §. 749 ff.

*†) Dictionnaire de Chymie, contenant la théorie et la pratique de cette science. Par. 1766. 3 T. 12. sec. éd. 4 T. 8. Uebers. von Leonhardi. Leipzig. 1781—1783. 6 T. 8. Neue Aufl. 1788—1791. 7 T. 8.

*††) Lithogeoognosie. Th. I. S. 66.

*†††) De materiali differentia luminis et ignis. Lips. 1780.

*††††) Gren's Journ. der Phys. Th. VII. S. 105. Journ. de Phys. T. XXXVII. p. 83. Lamyadius, kurze Darstellung der vorzüglichsten Theorien des Feuers etc. Götting. 1793.

*†††††) Ueber die neueren Gegenstände der Chemie. Dresd. u. Girschb. 1793. St. 3.

Nicht erscheine und die man nicht mit der Wärme identificiren könne; und insofern sei er gegen die Ansicht, daß die Verbrennung der Körper auf einfacher Wahlverwandtschaft beruhe, d. h. auf einer Verbindung der verbrennlichen Substanz mit Sauerstoff unter Ausscheidung von Wärme, wobei man von einer vierten Potenz, dem Lichte, das sich meist dabei zeige, absehe. — Mag die pblogistische Ansicht immerhin, wie behauptet wird, der Chemie einigen Nutzen gebracht haben, in die Theorie der Wärme brachte sie nur Vermirung und Unklarheit. Die Vorstellungen vom Pblogiston selbst waren meist sehr unbestimmt, so daß aus vielen Äußerungen darüber, wie man mit Recht bemerkt hat *), nicht zu entnehmen ist, ob man das Pblogiston als eine feine Substanz für die Wärme selbst oder nur für einen Träger derselben hielt. Eine Wärmetheorie, die längere Zeit beachtet und namentlich durch G. Raggellan **) verbreitet wurde, stellte Crawford ***) auf. Die beobachtete Ungleichheit in den Wärmecapacitäten der verschiedenen Körper führte noch bestimmter zur Vorstellung eines materiellen Wärmestoffes, der nach bestimmten quantitativen Verhältnissen in die Körper eingehe. So nahmen auch Marat ****) und Viciet *****) als Ursache der Wärmeercheinungen einen materiellen Stoff an, den der letztere *calorique* (*caloricum*) nannte. Prevost †) dachte sich den Wärmestoff als eine sehr feine Flüssigkeit, deren Elemente sich in entgegengesetzter Bewegung begriffen seien. Ueberhaupt lehrte man nach Befestigung des Pblogiston zur Annahme eines einfachen Wärmestoffes zurück. Laplace selbst ††) nahm einen solchen an, und Laplace †††) betrachtet den Wärmestoff als ein sehr feines ätherisches Fluidum, dessen Elemente gegeneinander repulsiv wirken, während sie von den Elementen oder Atomen der Materie angezogen werden. Und diese Ansicht lag auch den meisten theoretischen und mathematischen Untersuchungen über die Wärme bis auf die neuere Zeit herab zu Grunde. Gestützt auf die Ansicht von Laplace gab Barton ††††) eine Erklärung der Wärmeercheinungen, wobei er auf eine Bewegung der Wärmemoleculé um die Moleculé der Körper in elliptischen und anderen Bahnen reflectirte.

Man hat sich auch viel mit der Mäzbarkeit der Wärme beschäftigt. Wir erwähnen hier nur einige Versuche von Rumford †††††). Derselbe füllte sog. Florentiner Pblolen mit Wasser, Weingeist und Quecksilber, verschloß sie hermetisch, brachte sie auf einer feinen Wage, die noch 1 Milliontel des Totalgewichts

*) *Munde in Gehl. phys. Wörterb. Bd. X. S. 59.*

**) *Essay sur la nouvelle Théorie du feu élémentaire et de la chaleur du corps.* Lond. 1780. Versuch über die neue Theorie vom Elementarfeuer und der Wärme der Körper. Leipzig. 1782.

***) *Experiments and observations on animal Heat and the inflammation of combustible bodies.* Lond. 1778. red. 1788. Uebers. von Grell. Leipzig. 1789. Lichtenberg in *Griseben's Naturleher* 6. Aufl. 1794. S. 432, 434. J. T. Mayer, über die Gesetze u. Modifikationen des Wärmestoffes. Götting. 1791.

****) *Recherches physiques sur le feu.* Par. 1780. Deutsch von Weigel. Leipzig. 1782.

*****) Versuch über das Feuer. Aus dem Franz. Tab. 1790. §. 3.

†) *Recherches sur la Chaleur.* Genève 1792. Phil. Trans. 1802. p. 444.

††) *Mém. sur la combustion.* Mém. de Par. 1777.

†††) *Méc. céleste* T. V. chap. XII. p. 90 ff.

††††) Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. LXII. p. 342

†††††) Phil. Trans. T. LXXXIX. p. 179. *Gilb. Ann.* V. S. 206. *Scherer's Journ.* Th. V. S. 53. *Bibl. Brit.* T. XIII. p. 238. f. auch Art. Verbrennung S. 472 ff.

anzeigte, ins Gleichgewicht, ließ sie von $16^{\circ},11$ C. bis $— 1^{\circ},67$ erkalten, wog sie dann wieder und fand ihr Gewicht ganz unverändert. Störende Einflüsse, wie Ansetzen von Staub und Feuchtigkeit, Luftzug im Zimmer u. s. w. waren sorgfältig vermieden. Da sich nun nicht die geringste Gewichts-differenz darbot, obgleich das Wasser wegen seiner großen Wärmecapacität, besonders aber durch sein Gefrieren viel Wärme verlieren mußte, so schloß Rumford, daß seine Wage, ungeachtet ihrer außerordentlichen Feinheit, kein wahrnehmbares Gewicht der Wärme anzuzeigen vermochte. Verschiedene andere Versuche gaben ebenfalls ein negatives Resultat.

Dem gegen die Existenz des Wärmestoffes erhobenen Einwurfe, daß demselben die Schwere fehle, begegnete schon J. T. Mayer *) mit der Bemerkung, daß diese Eigenschaft noch gar nicht als eine nothwendige Bedingung aller Materie nachgewiesen sei; man könne nicht a priori behaupten, daß alle Materie wägbar sein müsse; das Gewicht des Wärmestoffes könne ja auch im Vergleich zum Gewicht der übrigen Körper eine verschwindend kleine und darum nicht nachweisbare Größe sein. Und in der That müssen wir bedenken, daß das, was man Schwere nennt, zunächst nur auf eine Relation verschiedener Körper (oder Körpertheilchen) hinweist, die vielleicht gar nicht auf einer unmittelbaren, gegenseitigen Wechselwirkung derselben (durch den leeren Raum hindurch) beruht, sondern vielmehr durch ein besonderes Agens (Aether) vermittelt ist, so daß hiernach die Schwere an und für sich den kleinsten Theilchen der Körper so wenig als den Elementen des Aethers zukommt, wohl aber aus einer Wechselwirkung beider (der Massentheilchen der Materie und der Elemente des Aethers) nothwendig resultirt (s. Art. Materie Bd. IV. S. 947 ff.). Man kann sich nun den sog. Wärmestoff, nach Analogie des Lichtäthers, bestehend denken aus einzelnen Elementen oder Molecülen, die durch attractive und repulsive Kräfte, wenn auch in einem andern Verhältniß als bei dem Lichtäther, um die Grundatome und Molecüle der Materie gruppiert sind. Inzwischen befindet sich der Wärmeäther, in Rücksicht der Schwere oder seiner Wägbarekeit, mit dem Lichtäther ganz in demselben Falle.

Reflectirt man auf die Ausdehnung der Körper durch die Wärme, auf die Prozesse der Schmelzung und Verdampfung, die lediglich durch die Wärme bewirkt werden, und endlich darauf, wie eben das, was man Wärme nennt, von der Oberfläche der Körper reflectirt, innerhalb ihrer Masse gebrochen und sonst modificirt wird, so kann man sich wohl kaum ernstlich des Gedankens entschlagen, daß hier außer den Grundbestandtheilen der Materie noch etwas anderes vorhanden sein müsse, welches im Verein mit jenen die betreffenden Erscheinungen bedingt.

Nimmt man nun einen Wärmeäther an, so hat man sich darunter nicht etwas vorzustellen, was etwa schon an sich warm ist, sondern die Wärmeerscheinungen resultiren erst aus der Wechselwirkung zwischen den Elementen dieses Aethers und den Molecülen der Materie. Wirken die Elemente des Wärmeäthers gegeneinander repulsiv, während sie von den Grundelementen und Massentheilchen der Materie angezogen werden, so daß diese eine sehr große Anzahl jener Elemente mit sich vereinigen können, so wird sich der Wärmeäther als eine mehrfache Hülle um die Molecüle der Materie gruppiren. Das Verhältniß zwischen den attractiven

*) Commentationes Soc. Reg. Sc. Gott. ad A. MDCCC — III. Vol. XV.

und repulsiven Kräften der Wärmeelemente kann bezüglich der Molecüle der Materie von der Art sein, daß, während die äußeren Hüllen des Wärmeäthers nach dem betreffenden Molecül (Masseitheilchen) hindrängen, die Dichte der inneren, dem Masseitheilchen näher gelegenen Hüllen dadurch vermehrt und in Folge dessen auch die Repulsion zwischen den Elementen der dichteren Hüllen gesteigert wird. Während nun diese inneren verdichteten Hüllen Elemente des Wärmeäthers nach außen senden, mit einer Energie und Geschwindigkeit, welche dem Drucke der äußeren Hüllen des Wärmeäthers (von allen Seiten her) entspricht, dringen die letztgenannten Hüllen nach innen; und auf diesem Vorgange würde die Aus- und Einstrahlung der Wärme beruhen. Werden aber in jedem Moment ebensoviele Elemente nach außen geschendet, als deren vermittelst der äußeren Hüllen sich dem Masseitheilchen anschließen, so ist ein bewegliches Gleichgewicht eingetreten, welches, so lange es dauert, das Masseitheilchen auf einer constanten Temperatur erhält. Und ebenso muß es sich auch verhalten bei einem Aggregat von Masseitheilchen, d. h. bei einem größeren Körper. In den gewöhnlichen Darstellungen der Emissionstheorie der Wärme nimmt man auf die hier hervorgehobene Bewegungsart der Elemente des Wärmeäthers keine Rücksicht, obgleich sie für die Erklärung verschiedener Wärmeercheinungen von Bedeutung ist. — Nimmt man an, daß die Sonne Wärme ausstrahlt, so muß ihr dieser Verlust im Sinne der Emissionstheorie der Wärme auch wieder ersetzt werden. Nun könnte, wenn man sich um die Sonne eine große und dichte Hülle von Wärmeäther denkt, eine Ein- und Ausstrahlung der Wärme in der bezeichneten Art stattfinden, so daß also, während die der Sonne näher gelegenen dichteren Schichten des Wärmeäthers Elemente ausenden, gleichzeitig sich neue Schichten von außen anschließen; die Intensität der Wärmeausstrahlung würde auch hier dem Drucke der äußeren Schichten des Wärmeäthers gegen die tieferen entsprechen, und falls es nicht im Verlaufe der Zeit zu einer beträchtlichen Verminderung der Wärmeausstrahlung kommen sollte, muß sich hier ein bewegliches Gleichgewicht zwischen der Aus- und Einstrahlung in der Weise herstellen, daß sich in jedem Moment ebensoviele Elemente den äußeren Wärmeätherhüllen anschließen, als deren von innen herausgetrieben werden, die sich dann dem aus der Repulsion entsprungenen Antriebe gemäß so lange in derselben Richtung fortbewegen, bis die Materie, durch welche sie gehen, eine Ablenkung bewirkt. Freilich könnte man auch annehmen, daß von der Sonne aus eine wellenartige Verbreitung des Wärmeäthers stattfinde, und daß derselbe hierdurch den Körpern im Raume zugeführt werde. Auch hat man wohl daran gedacht, daß die Lichtstrahlen den in den Körpern enthaltenen Wärmeäther nur entbinden, so daß also hiernach die Sonne keine Wärmestrahlen ausendet *).

Die Wärmecapacität eines Körpers wird um so größer sein, je dichtere und zahlreichere Hüllen der Wärmeäther um seine Masseitheilchen bilden kann. Die Dichte dieser Hüllen ist aber bedingt durch die Stärke der Anziehung zwischen den betreffenden Masseitheilchen und den Elementen des Wärmeäthers; die Größe und Anzahl der Hüllen um jedes einzelne Masseitheilchen hängt dagegen von der Dichte des Körpers ab. Je dichter ein Körper ist, d. h. je mehr Masseitheilchen

*) Vergl. W. Marschall v. Sibirsk in v. Zach's monatl. Correspondenz. Th. XX. S. 815.

in einem gegebenen Volumen vereinigt sind, desto mehr Mittelpunkte giebt es, um welche der Wärmeäther Hüllen bilden kann; allein je dichter die Massentheilchen beisammen liegen, desto weniger Freiheit haben die Elemente des Wärmeäthers, sich in der Form von neuen (äußeren) Hüllen den um das Massentheilchen schon vorhandenen inneren Hüllen anzuschließen, während dies bei minder dichten Körpern natürlich besser angeht. Und somit kann man sagen, je gleichförmiger und dichter gewisse Massentheilchen den Raum erfüllen, desto geringer wird unter sonst gleichen Umständen ihre Wärmecapacität sein.

Wirkt eine Wärmequelle auf einen starren Körper ein, wodurch diesem fortwährend Elemente des Wärmeäthers zugeführt werden, so suchen sich die letzteren den um die Massentheilchen des Körpers vorhandenen Hüllen anzuschließen; hiermit wächst aber die Repulsion zwischen den Elementen der Wärmehüllen, die Molecüle des Körpers treten weiter auseinander und sein Volumen nimmt zu. Hierdurch vermindert sich aber die erwähnte Repulsion, und die Elemente des Wärmeäthers gewinnen Freiheit, sich den schon vorhandenen Hüllen anzuschließen, d. h. die Wärmecapacität wächst mit der Ausdehnung. Dies geht so fort bis zu dem Moment, wo das Verhältniß zwischen den attractiven und repulsiven Kräften der Wärmeelemente in Folge der Vermehrung der letzteren zu einem neuen Gleichgewicht zwischen den Molecülen des Körpers führt, d. h. bis dahin, wo der Körper wegen der verminderten Cohäsion in den Zustand des Schmelzens geräth und die neu hinzukommenden Elemente des Wärmeäthers sich als neue Hüllen den Molecülen anschließen, um den Proceß des Schmelzens zu vervollständigen. Wirkt aber eine Wärmequelle auf eine tropfbare Flüssigkeit, so erfolgt zunächst wieder Ausdehnung, bis endlich vermöge der vergrößerten Wärmeätherhüllen an die Stelle der vorher noch vorhandenen Cohäsion Repulsion aller Molecüle tritt, kraft deren sich die letzteren im Raume zu zerstreuen suchen.

Es hat nun eben keine Schwierigkeit, auf Grund dieser Principien die latente und specifische Wärme der Körper, die Proceße der Schmelzung und Verdampfung, so wie auch die Wärmeleitung genauer im Sinne der Emissionstheorie der Wärme zu erklären. Doch drängen die neueren Untersuchungen über die Geseze der strahlenden Wärme entschieden zu einer Oscillations- oder Undulationstheorie der Wärmeerscheinungen hin.

Wie in der Lehre vom Lichte sich frühzeitig neben der Emissionstheorie eine Oscillationstheorie desselben geltend zu machen suchte, so auch in der Lehre von der Wärme. (Cartesius *) betrachtete die Wärme als Resultat der Bewegung seines ersten Elements oder der subtilen Materie, und Baco von Verulam **) sah in ihr nur eine Bewegung der kleinsten Theilchen der Körper, welche dabei wellenförmig nach außen strebten. Auch Newton ***) war einer solchen Ansicht nicht sehr fern. Rumford ****) wußte die Resultate seiner Versuche über die durch Reibung entwickelte Wärme nicht mit der Vorstellung eines Wärmeäthers,

*) Princip. Philos. L. IV. art. 29. §. 80.

**) De forma calidi. In seinen Opp. Amst. 1653. 12. oder Works. Lond. 1778. 8 Voll. 4.

***) Optice. ed. Clarke. Lond. 1706. 4 Q. 8, 9, 10. Optice lib. III. quaest. XVIII.

****) Phil. Trans. 1798. P. I. p. 80 ff. Journ. de Phys. T. XLVII. p. 24. Experimental Essays. Ess. IX — XV.

der im bestimmten Verhältniß aufgenommen und ausgeschieden werde, zu vereinigen, und sah demgemäß die Wärme lediglich als Folge einer Bewegung an. Hiergegen trat Berthollet *) auf, der die Existenz eines Wärmestoffes zu vertheidigen suchte. Th. Young **) fand indes die in den Versuchen Rumford's entwickelte Wärmemenge so groß, daß sie nach der gangbaren Vorstellung von einem Wärmestoff nicht wohl erklärt werden konnte. Auch G. Davy *** suchte die gewöhnliche Ansicht von einem materiellen Wärmestoff zu widerlegen, und dafür eine bloße Bewegungstheorie zu substituiren, die jedoch von einer eigentlichen Oscillationstheorie der Wärme sehr verschieden ist. Die Einwürfe, welche man aus den Reibungsversuchen gegen die Existenz eines Wärmestoffes erhob, suchte dann wieder W. Henry ****) zu widerlegen. Eine Zurückführung der Wärmeerscheinungen auf bloße Bewegungszustände mit specieller Berücksichtigung des Thatsächlichen versuchte ferner Mohr *****); auch Paulsen †) versuchte eine Zurückführung der Wärme auf ursprüngliche und mitgetheilte Bewegung der Körpertheilchen, und Wünsch ††) sprach von einer positiven Wärme, die auf einer positiven oscillirenden Ausdehnung der Körpertheilchen beruhen sollte, und von einer negativen Wärme, die er als eine oscillirende Zusammenziehung der sinnlich wahrnehmbaren Materie betrachtete.

Gegen eine Oscillationstheorie der Wärme erklärten sich unter anderen Murray †††) und namentlich J. F. Mayer (an dem bereits cit. Orte), der das Unbestimmte und Ungenügende derselben in ihrer damaligen Gestalt hervorhob, während doch die Emissionstheorie von einer gewissen Anzahl damals schon genauer untersuchten Erscheinungen eine ziemlich präcise Erklärung zu geben vermochte. In den zuvor angeführten Ansichten wird zum Behufe einer Erklärung der Wärmeerscheinungen bloß auf eine Bewegung der Körpertheilchen zurückgegangen, ohne daß man dabei sonst noch auf ein vermittelndes Agens (Aether) reflectirte. Derselben können hiernach bloß mit dem Schalle in Beziehung gebracht werden, der allerdings auf einer oscillirenden Bewegung der Körpertheilchen beruht. Da jedoch die Schallwellen zu ihrer Fortpflanzung stets eines Mediums bedürfen, da sich dieselben thatsächlich in einem leeren (von Materie befreiten) Raume nicht verbreiten, so müssen wir auch, nach unserer Ueberzeugung, zur Fortpflanzung der Wärmewellen, welche sich von der Sonne aus im Planetenraum verbreiten, ein besonderes Medium annehmen, das ohne Zweifel nur unter den Begriff des Aethers fallen kann. Aber auch die Ausdehnung der Körper durch die Wärme, die Processse der Schmelzung und Verdampfung erfordern, wie nicht minder die Gesetze der strahlenden Wärme, zu ihrer vollständigen Erklärung nach der Oscillations- oder Vibrationstheorie noch die Annahme besonderer Elemente (des Aethers), welche mit den Atomen

*) Statique chimique T. I. p. 247.

**) Lectures on natural Philosophy. Lond. 1807. 4. T. I. p. 653.

***) Essay on Heat, Light and the Combinations of Light. In contributions physical and medical knowledge, collected by Th. Boddoo. Bristol 1799. T. I. p. 1.

****) Mem. of the Society of Manchester. T. V. P. 2. Lond. 1802.

*****) Baumgartner's und v. Folger's Zeitschrift, Th. V. S. 419.

†) De caloris theoria, qua vibrationis vel motus systema contra systema materialia defenditur. Gott. 1821.

††) Phil. Ann. St. XVI. S. 337.

†††) System of Chemistry. 3d. ed. T. I. p. 463.

und Massentheilen der Materie durch Attraction und Repulsion auf eine bestimmte Weise verbunden sein müssen. Schwerlich möchten sich jene Phänomene aus einer (oscillirenden) Bewegung der kleinsten Körpertheilen allein erklären lassen. Endlich kann man von einer Oscillationstheorie der Wärme noch verlangen, daß sie bestimmt anzugeben wisse, wie sich die Schwingungen, auf denen die Wärme beruht, von den Schallschwingungen der Körper unterscheiden.

Die erste bestimmtere Fassung erhielt die Vibrationstheorie der Wärme durch Ampère *). Derselbe unterseidet im Hinblick auf die Constitution der Materie Partikeln, Moleküle und Atome, eine Unterscheidung, der wir im Ganzen vollkommen beipflichten. Die Partikeln besitzen, obgleich sie noch sehr klein sind, doch die Aggregatform der Körper, welchen sie zugehören, so daß sie also entweder fest, tropfbar flüssig oder gasförmig sind. Dieselben bestehen aus Molekülen, die durch die dem Atome eigenthümlichen attractiven und repulsiven Kräfte, dann durch die Repulsion, welche die Vibrationen des zwischen den Partikeln befindlichen Aethers erzeugen, und endlich durch die der Materie, als solcher, zukommende Attraction in gewissen Abständen von einander gehalten werden. Die Moleküle sind Verbindungen von Atomen, welche letztere darin durch ihre attractiven und repulsiven Kräfte zusammengehalten werden, und zwar mit einer Energie, gegen welche die Anziehung der Moleküle untereinander fast verschwindend klein ist. Die Atome sind endlich physische, mit attractiven und repulsiven Kräften begabte Punkte. Hiernach kann man die Moleküle, welcher Aggregatform sie auch zugehören mögen, im Wesentlichen als fest betrachten, indem sie Polyeder bilden, an deren Spitzen sich Atome oder auch eine größere Anzahl derselben befinden. Auf mechanische Weise können nur die Partikeln von einander getrennt werden, während die aus den Vibrationen der Atome entstehende Kraft zusammengefügtere Moleküle in einfachere, wie sie in tropfbar flüssigen und gasförmigen Körpern vorkommen, zerlegen kann. Geht ein Körper in einen anderen Aggregatzustand über, so verändert sich dabei eigentlich nur der Abstand der Moleküle von einander; bei der Rückkehr aus dem tropfbar flüssigen in den festen Aggregatzustand vereinigen sich indeß mehrere Moleküle zu einem zusammengefügteren.

Der Schall beruht nun nach Ampère auf den Schwingungen der Moleküle, während die Schwingungen (Vibrationen) der Atome, welche ohne Unterlaß stattfinden, die Erscheinungen des Lichtes und der Wärme bewirken, indem sie sich durch den Aether fortpflanzen.

Man hat wohl gefragt und kann so fragen, was die von Ampère angenommene Bewegung der Atome unterhalte, und warum sie nicht gleich den Schwingungen der Massentheilen, welche den Schall bedingen, zur Ruhe kommen. Nach unserer Ansicht, die wir im Art. Materie Bd. IV. S. 926, 938 ff. auseinandergesetzt haben, ist die Constitution der Materie wesentlich durch die Elemente des Aethers mit bedingt, so daß die Bildung bestimmter Massentheilen aus den letzten Grundelementen (Atomen) der Materie nur vermittelt des Aethers von Statten gegangen ist. Die Atome, welche zusammen ein bestimmtes Molekül bilden, werden gerade durch eine unaufgesetzte oscillatorische Bewegung der Aetherelemente zusammengehalten, und diese Oscillation erscheint als notwendiges Resultat der

*) Bibl. univ. 1832. T. XLIX. p. 225. Ann. de Chim. et Phys. T. LVIII. p. 432. Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XLI. p. 342.

zwischen den Atomen der Materie und den Elementen des Aethers bestehenden Kräfteverhältnisse, wobei es aber nicht gerade nöthig ist, daß man den Atomen ursprüngliche attractive und repulsive Kräfte, im Sinne *Ampère's*, beilegt. Wahrscheinlich ist es aber, daß die Atome, welche durch den oszillirenden Aether zu einem Massenthcilchen (oder Molecül) vereinigt sind, in Folge der Bewegung des Aethers gleichfalls zu einer Oszillation um eine gewisse Gleichgewichtslage veranlaßt werden, so daß sie sich abwechselnd dem Centralatom des Massenthcilchens nähern und davon entfernen (s. Art. Materie S. 943 ff.), während das Centralatom selbst seine Stellung nicht verändert. Ein Massenthcilchen besteht nämlich aus der durch den Aether vermittelten Verbindung eines Atoms B mit zwei, drei, vier oder mehreren Atomen A in bestimmten Verhältnissen, insofern die Atome A auf bestimmte Weise um das Atom B gruppiert sind. Nun können sich zwei solcher Massenthcilchen vertheilen mit einander vereinigen, daß nach Herstellung des Gleichgewichtes die Centralatome derselben in einem gewissen festen Abstände von einander stehen, während die zu jedem Centralatom gehörigen Atome ihre Schwingungen fortsetzen, indem sie sich innerhalb gewisser Grenzen dem ersteren abwechselnd nähern und von ihm entfernen (s. Art. Materie S. 944. Fig. II.). Ein äußerer Impuls, wie z. B. bei der Erregung des Schalles, vermag die Massenthcilchen, als solche, in Bewegung zu setzen, und die Oszillationen der Massenthcilchen bestehen, kann man sagen, aus einer wechselnden Verkleinerung und Vergrößerung des Abstandes ihrer Centralatome. Da jedes Atom der Materie von einer Aethersphäre eingehüllt ist, so läßt sich natürlicher Weise auch jedes Atom als ein Centralement in Bezug auf seine Aethersphäre betrachten. So halten wir es nun für wahrscheinlich, daß den zu einem Massenthcilchen verknüpften Atomen ursprüngliche Schwingungsbewegungen zukommen, deren Intensität durch verschiedene innere und äußere Einflüsse, welche auf chemischen und anderen (physikalischen oder mechanischen) Vorgängen beruhen, vermittelst der Aetherelemente in verschiedenem Maße gesteigert werden kann. —

Die Schwingungen der Atome pflanzen sich durch den Aether weiter im Raume fort, und dies kann nach *Ampère* wie beim Schalle geschehen, so nämlich, daß wie die Schallwellen den einmal berührten Theil der Luft, so die Wärmewellen den einmal berührten Theil des Aethers (relativ) in völliger Ruhe zurücklassen, bis ein neuer Wellenimpuls dieselbe Bewegungsweise wiederholt. Hierauf beruht nun die Fortpflanzung der Wärme durch Strahlung, oder die strahlende Wärme.

Wir wissen, daß ein Körper nicht durch Wärmestrahlen erwärmt wird, welche, so zu sagen, frei durch ihn hindurchgehen, oder für welche er diatherman ist. Denken wir uns, daß die Aetherwellen, welche derartige Strahlen ausmachen, sich nur vermittelst der Aetherelemente, welche um die Atome eines Körpers gruppiert sind, durch diesen letzteren fortpflanzen, so daß also die Atome selbst dabei keine Veränderung in ihren Vibrationen erleiden, so wird der Körper insofern ein diatherman sein. Ueberträgt sich aber die Bewegung von Seiten der Aetherwellen vermittelst der Aethersphären auch auf die Atome eines Körpers, so daß diese nun größere Schwingungen als sonst vollführen, so erfährt der Körper eine Temperaturerhöhung. Und wenn die Temperatur mit der Schwingungsweite zunimmt, so läßt sich daraus auch die Ausdehnung der Körper durch die Wärme ableiten*).

*) Vergl. *Ed. Pogg. Ann. Bd. XCI. S. 287.*

Auch pflegt man wohl anzunehmen, daß, wenn zwei Masseneinheiten eines und desselben Körpers verschiedene Temperaturen zeigen, dies davon herrühre, daß die Weiten (Amplituden) der Vibration, welche die zwischen den Molecülen gelegenen Aetherelemente vollziehen, bei der wärmeren Masse größer als bei der kälteren sei.

Bei der Wärmeleitung überträgt sich gleichfalls die Bewegung der Aetherwellen auf die Atome, so daß diese nun größere Schwingungen ausführen, die sich von den der Wärmequelle zunächst ausgesetzten Molecülen durch Vermittelung des Aethers zu den entfernteren fortpflanzen, indem jedes Molecül sich gegen das nächste, noch kältere wärmeausstrahlend verhält. — Wilhelmy *), der gleichfalls die Fortpflanzung der Wärme durch Leitung auf diejenige durch Strahlung zurückzuführen suchte, stellte eine Abhängigkeit der Wärmeleitung von der Temperatur oder von der Schwingungsdauer im Sinne der Vibrationstheorie heraus, und diese Abhängigkeit ist auch erfahrungsmäßig begründet, was wir schon früher in diesem Art. hervorgehoben haben.

Betrachtet man nach der Vibrationstheorie die Temperatur eines Körpers als die lebendige Kraft seiner schwingenden Atome, so muß die Zu- oder Abnahme dieser Kraft natürlich eine Erwärmung oder Erkaltung des Körpers herbeiführen.

Geht aber ein Körper aus dem starren in den tropfbar flüssigen Zustand über, so nimmt die Vibrationsintensität, oder vielmehr die Amplitude der Schwingungen ab, während die Anzahl der letzteren zunimmt; und hierin bestände das sog. Latentwerden der Wärme. Derselbe Vorgang wiederholt sich beim Uebergang aus dem tropfbar flüssigen in den gasförmigen Zustand. Wenn also von einer Wärmequelle aus fortwährend Wellenimpulse auf einen starren Körper treffen, so folgt daraus zunächst eine Vergrößerung der Schwingungsweite und demzufolge eine Ausdehnung des Körpers, insofern seine Molecüle sich weiter von einander entfernen. Beim Schmelzen des Körpers treten nun die Molecüle desselben, bei verminderter Anziehung, in ein neues Gleichgewichtsverhältniß, und während dies geschieht, nimmt eben die Schwingungsweite der Atome und Aetherelemente ab, während die Anzahl der Schwingungen zunimmt. So ist es auch im Wesentlichen beim Uebergange aus dem tropfbar flüssigen in den gasförmigen Zustand, nur daß hier die Molecüle ganz aus dem Bereiche gegenseitiger Anziehung heraustreten. Und umgekehrt verhält es sich beim Uebergange aus dem gasförmigen in den tropfbar flüssigen und aus diesem in den starren Aggregatzustand.

Im Art. Materie (Bd. IV. S. 946 ff.) bemerkten wir, daß wenn eine oscillatorische Bewegung der Aetherelemente dem Drucke der intermoleculären Aethersphären (von Innen nach Außen) das Uebergewicht verschafft, dann die Centralmassentheilchen sich bis zur Herstellung eines neuen Gleichgewichts von einander entfernen müssen **). Geht nun, wie dort weiter bemerkt ist, die Entfernung so weit, daß das eine Massentheilchen aus der Sphäre des benachbarten dergestalt heraustritt, daß nur noch ein Ineinandergreifen der Sphären selbst stattfindet, so ist die Aggregation der Massentheilchen eine andere geworden: der betreffende Körper ist nun tropfbar flüssig; die eine Sphäre wird sich jetzt leicht an der anderen verschieben lassen, wobei das Centralmassentheilchen derselben eine Drehung um das

*) Versuch einer mathematisch-physikalischen Wärmetheorie. Heidelberg 1851.

**) Vergl. auch Cornelius, über die Bildung der Materie aus ihren einfachen Elementen u. Leipzig 1856.

andere erfährt, sowie denn auch eine vollständige Drehung eines Massentheilchens um sich selbst geschehen kann. Die Massentheilchen haben eine leichte, freie Beweglichkeit nach allen Richtungen gewonnen, und dies ist das charakteristische Kennzeichen der tropfbaren Flüssigkeiten, was auch den Theilchen der gasförmigen Flüssigkeiten noch zukommt, nur daß bei ihnen keine bestimmte Gruppierungswaise mehr in Folge des Ineinandergreifens ihrer Aethersphären stattfindet. Indem nämlich die oscillatorische Bewegung der Aetherelemente, welche den intermoleculären Druck der Sphären verstärkt, fortwirkt, werden die Massentheilchen noch weiter von einander entfernt; es entsteht aber ein Maximum jenes Druckes in dem Augenblick, wo die Massentheilchen mit ihren Sphären aus denen der benachbarten heraustreten, und mit dem hierbei empfangenen Bewegungsmoment fliehen die Theilchen auseinander. Im starren Zustande der Körper bilden die Massentheilchen dichtere Gruppen, in denen jedes Massentheilchen von der Sphäre des benachbarten bis zu einem gewissen Maße umschlossen ist, wodurch ein festerer Zusammenhang zwischen diesen Theilchen bewirkt wird, die dann nicht nur in bestimmten Abständen, sondern auch in einer bestimmten gegenseitigen Lage zu verharren streben. In allen drei Aggregatzuständen können aber die Atome, welche die einzelnen Massentheilchen bilden, innerhalb gewisser Grenzen verschiedene Schwingungen vollziehen.

Clausius *) charakterisirte neuerdings, auf Grund seiner mechanischen Theorie der Wärme (s. weiter oben), die verschiedenen Aggregatzustände auf folgende Weise. Im starren Zustande vollenden die Molecüle als Ganzes, oder auch die sie constituirenden Atome innerhalb der Molecüle, Schwingungen, welche in Hin- und Herbewegung des Schwerpunktes oder in Drehungen um den Schwerpunkt bestehen, um eine gewisse Gleichgewichtslage. Diese Lage verlassen die Molecüle nur dann ganz, um in neue Lagen überzugehen, wenn äußere Kräfte einwirken. Im flüssigen Zustande können die Molecüle sich um ihren Schwerpunkt ganz herum drehen und sich ganz aus ihrer Gleichgewichtslage fortbewegen, jedoch nur unter der Mitwirkung der von benachbarten Molecülen ausgehenden Kräfte, so daß die flüssige Masse sich ungedrückt der in ihrem Innern stetig verlaufenden, schwingenden, wälzenden und fortschreitenden Bewegung, im Ganzen nicht trennt, sondern innerhalb eines gewissen Volumens bleibt. Der Umstand aber, daß bei tropfbaren Flüssigkeiten die Molecüle die Anziehungssphäre ihrer benachbarten Molecüle nur verlassen, um in diejenige anderer Molecüle überzutreten, bezieht sich nur auf den Mittelwerth der Bewegungen, von welchem die wirklichen Bewegungen nach beiden Seiten innerhalb weiter Grenzen abweichen. Der Vorgang der Verdunstung besteht hiernach darin, daß die in der Nähe der Oberfläche liegenden Molecüle aufwärts geschleudert werden und die flüssige Masse verlassen. In einem abgeschlossenen Raume stellt sich allmählig ein bewegliches Gleichgewicht in der Weise her, daß ebenso viele Molecüle, die von den Wänden oder anderen im Raume über der Flüssigkeit befindlichen Molecülen abprallen, zur flüssigen Masse zurückkehren, als deren gleichzeitig von letzterer fortgestoßen werden. Ein anderes Gas im geschlossenen Raume über der Flüssigkeit hindert die Verdunstung nicht, weil die Gas molecüle nur einen verhältnißmäßig verschwindenden Antheil dieses Raumes wirklich ausfüllen. Im Gaszustande sind endlich die Molecüle ganz aus dem

*) Pogg. Ann. Bd. C. S. 353.

Bereich ihrer gegenseitigen Anziehung herausgetreten und fliegen nach den gewöhnlichen Bewegungsgeetzen geradlinig fort.

Wir bemerken hier, daß Macquorn Rankine in seiner mechanischen Theorie der Wärme (s. weiter oben) eine Combination aus einem centralen physischen Punkte und einer elastischen Atmosphäre (Ätherosphäre), welche durch Anziehung mit ihm verknüpft ist, ein Atom nennt, so daß also die Materie eine Vereinigung solcher Atome ist. Den centralen physischen Punkt nennt er den Kern des Atoms. Obwohl gegen eine solche Bezeichnungsweise im Allgemeinen nichts einzuwenden ist, so möchte es vielleicht doch passender erscheinen, das Wort Atom zur Bezeichnung der leichten, einfachsten Elemente zu verwenden und demgemäß jene centralen physischen Punkte selbst Atome zu nennen, welche im Verein mit den Äther-Elementen oder Ätheratomen die eigentlichen Grundelemente und insofern allerdings die Kernpunkte (Centralelemente) der wägbaren Materie sind. Freilich steht uns auch nichts im Wege, schon hier Atome verschiedener Ordnung zu unterscheiden, und dann könnte man jedes Grundelement eingehüllt von den Elementen des Äthers, also jede Combination eines solchen Elements mit einer Ätherosphäre schlechthin ein Atom der Materie nennen, dem man als einem Atom zweiter Ordnung auch den Namen eines Molecüls erster Ordnung geben könnte, insofern man sich unter einem Molecül, zur Unterscheidung von den einfachen Atomen, immer etwas zusammengefügtes zu denken hat. Ein solches Molecül würde zusammenfallen mit dem, was H e d t e n b a c h e r *) eine Dynamide nennt, wenn dabei nicht schon an eine verschiedene Gestalt derselben gedacht würde. Wir denken uns diese Molecüle vielmehr, insofern jedes aus einem ganz einfachen Centralelement und einer gleichmäßig um dasselbe gruppierten Ätherhülle besteht, alle als rein kugelförmig, geirgt auch, die Centralelemente wären nicht bei allen diesen Molecülen von derselben qualitativen Beschaffenheit. Solche einfache Molecüle vereinigen sich nun in bestimmten Verhältnissen zu Molecülen (oder Massenthellchen) einer höheren Ordnung, indem sich mehrere einer gewissen Art A um ein anderes B auf bestimmte Weise vermittels ihrer Ätherosphären gruppieren, so daß dann auch dem hieraus resultirenden zusammengefügteren Molecül eine bestimmte Gestalt zukommt, welche durch die gegenseitige Lage der Centralelemente der einfachen Molecüle bestimmt ist **). Diese Massenthellchen, die man auch Massenatome nennen könnte, wären nun erst als die gewöhnlichen Atome der Chemie zu betrachten, die sich wieder zu Atomen oder vielmehr zu Massenthellchen höherer Ordnungen mit einander verbinden können.

Rankine nimmt an, daß das Medium, welches Licht und strahlende Wärme fortpflanzt, aus den Kernen der Atome besteht, die fast oder ganz unabhängig von ihren Atmosphären vibrieren. Absorption ist nach ihm die Uebertragung der Bewegung von den Kernen zu den Atmosphären, und Radiation (Ausstrahlung) die Uebertragung von den Atmosphären zu den Kernen. Die Wärmemenge ist die lebendige Kraft der Bewegungen der Theilchen in den Atomen-Atmosphären, diese Bewegungen mögen übrigens rotirend oder geradlinig oscillirend sein. —

Da die Wärmestrahlen gleich den Lichtstrahlen reflectirt, einfach und doppelt gebrochen, polarisirt und gebeugt werden, so müssen auch die Schwingungen des Äthers, welche die Wärmestrahlen bedingen, senkrecht sein zur Fortpflanzungs-

*) Dynamidensthem x. Mannheim 1857.

**) Vergl. Art. Materie, Bd. IV. S. 942 ff.

richtung eines Strahles, oder mit anderen Worten, es müssen wie bei den Licht-, so auch bei den Wärmestrahlen Transversalwellen des Aethers sein, durch welche die ganz analogen Erscheinungen bewirkt werden. Die Analogie zwischen den Licht- und Wärmestrahlen ist in dieser Beziehung so groß, daß dadurch der Gedanke einer Identität beider sehr lebhaft hervorgerufen wird. Und schon Ampère sprach eine solche Identität aus, in der Weise, daß die Strahlen, welche in unserem Auge die Lichtempfindung veranlassen, sich von den dunklen Wärmestrahlen nur durch eine geringere Wellenlänge unterscheiden. Diese dunklen Strahlen werden vom Wasser und von schwachen Salzlösungen (im Wasser) absorbiert, wenn auch die Schicht, welche sie zu durchdringen haben, nur einige Millimeter dick ist. Daher können sie denn auch das Auge, welches Wasser enthält, nicht durchdringen und die Nervenhaut nicht erregen. Melloni *) erklärte sich jedoch gegen eine solche Auffassungswelt, indem er auf mehrere Versuche hinwies, die vielmehr eine Nicht-Identität der Licht- und Wärmestrahlen zu beweisen schienen. Wenn man nämlich Wasser zwischen grünen, durch Kupferoxyd grün gefärbten, Gläsern einschlirft, so geht zwar Licht, aber keine merkliche Wärme hindurch. Und löst man einzelne Ionen des Sonnenspectrums, welches man durch ein Steinjalapridma erhalten hat, vermittelft farbiger Gläser aus, so entsprechen den dunklen Streifen keine Temperaturminima, sondern das Temperaturmaximum hat bei verschieden gefärbten Gläsern dieselbe Lage, und die Wärme nimmt nach beiden Seiten desselben mit der größten Regelmäßigkeit ab.

Setzt nun einmal, die hieraus hervorgehenden Bedenken gegen die Identität der Licht- und Wärmestrahlen seien unwiderleglich, so würde dadurch die Oscillationstheorie der Wärme im Wesentlichen nicht beeinträchtigt werden; denn die Erscheinungen der Brechung, Polarisation und Beugung der Wärmestrahlen würden zu ihrer Erklärung immer noch Schwingungen in demselben Sinne erfordern wie die analogen Erscheinungen des Lichtes; nur könnte man nicht mehr behaupten, daß beide, nämlich die Wärme- und Lichtstrahlen, auf denselben Schwingungen desselben Aethers beruhten. Man würde also genöthigt sein, neben den Lichtäther noch einen Wärmeäther anzunehmen, der gleich jenem im Raume verbreitet und um die Atome der Materie isohärrartig gruppiert wäre, in ähnlicher Weise, wie die Theilchen verschiedenartiger Gase einen Körper einhüllen können. Die Elemente oder Atome des Wärmeäthers könnten sich von denen des Lichtäthers durch ein verschiedenes Verhältniß ihrer attractiven und repulsiven Kräfte in Bezug auf die Atome der Materie unterscheiden, etwa so, daß ihre Anziehung zu den letzteren und ihre Repulsion gegen einander stärker wäre als bei den Atomen des Lichtäthers. Dagegen könnten aber die Schwingungen der Atome, welche die Kernpunkte der Materie bilden, wie im Lichtäther, so auch im Wärmeäther eine Wellenbewegung derselben Art veranlassen, so daß Licht- und Wärmewellen, obgleich selbstständig und von einander unabhängig, doch im Vereine mit einander sich im Raum verbreiten und jedenfalls analoge Erscheinungen darbieten würden.

Inzwischen haben fortgesetzte Untersuchungen über die strahlende Wärme mit Bezug auf die Lichtstrahlen doch die angefochtene Identität zu einem nicht geringen Grade von Wahrscheinlichkeit erhoben. Selbst Melloni ist dieser Ansicht, nämlich von einer Identität der Licht- und Wärmestrahlen, später beigetreten, wobei

*) Pogg. Ann. Bd. XXXVII. S. 486.

er zunächst von der Hypothese ausging *), daß zwischen den leuchtenden Strahlen und der Molecularelasticität der Netzhaut eine gewisse Art von Accord stattfindet, der eben die Lichtempfindung bedinge. Dem gelben Lichte sollte hiernach das Maximum der Consonanz mit der Nervenhaut zukommen, weil sie eine gelbliche Färbung zeigt. Die Strahlen jenseits des Roth und jenseits des Violett seien aber darum nicht leuchtend, weil ihnen jede Art von Accord mit der Molecularelasticität der Netzhaut fehle. Indessen suchte Brücke **) durch Versuche zu zeigen, daß auch die Strahlen jenseits des Violett von den optischen Medien des Auges absorbiert werden. Derselbe verwandte zu diesen Versuchen die optischen Medien des Rindauges, des Kaninchenauges und die Linse vom Sechste. Als Reagenz wurde Guajakharz benutzt, welches von den stark brechbaren Strahlen gebläut wird. So legte man unter anderem die frische Linse eines Ochsenauges mit der Kapsel auf einen 8^{mm} hohen Metallring von 9^{mm} Radius, und zwar mit ihrer convexesten Seite nach oben, so daß man sicher war, daß sie die Fläche, auf die der Ring gestellt ward, nicht berührte. Hiernach übergieß man eine kleine Porzellanplatte mit Guajaksintur, trocknete sie im Dunkeln, stellte auf sie den Ring mit der Linse und setzte sie dem diffusen Lichte aus. Während sich nun die Platte da, wo das Licht unmittelbar auf sie wirkte, lebhaft grün und allmählig immer weiter bis zum tiefsten Dunkelblaugrün färbte, fand sich an der Stelle, wo das Licht durch die Linse eingefallen war, nur ein leichtes Gelbgrün, mochte man auch den Versuch beliebig lange dauern lassen. Brücke fand durch häufig wiederholte Versuche, daß die Linse die bläuernden Strahlen in sehr hohem Grade absorbiert, weniger die Cornea und der Glaskörper, am meisten aber die Linse mit diesen beiden Medien zusammen. — Bei einem Versuche, den Brücke mit dem Thermomultiplikator anstellte, ergab sich, daß von einer dunklen Wärmequelle, wie zu erwarten war, nichts durch die Linse hindurchging, dagegen wurde von der leuchtenden die Nadel des Instrumentes regelmäßig um $1\frac{1}{2}$ Grad abgelenkt. Nach Einschaltung der Hornhaut vor der Linse blieb die Nadel, als der die Strahlen abhaltende Metallschirm hinweggezogen wurde, ganz unbeweglich, obgleich das Licht hell auf die Thermosäule einstrahlte. Wenn nun die Strahlen jenseits der Grenzen des sichtbaren Spectrums im Auge völlig absorbiert werden, von allen übrigen aber noch ein gewisses, und nur im Verhältniß zur ursprünglichen Intensität sehr geringes Quantum zur Retina gelangt, welches, wenn es auch auf das Thermoskop nicht mehr wirkt, doch hinreicht, um den Sehnerven lebhaft zur Empfindung des Leuchtenden zu erregen, so ist es, wie Brücke fortfährt, klar, daß man, indem man Strahlen von verschiedener Brechbarkeit durch optische Medien vom Auge hindurchleitet, dieselben in der Weise schwächen kann, daß sie auf das Thermoskop nicht mehr wirken, dieselben aber doch noch vollkommen geeignet sind, nunmehr auch noch die optischen Medien des eigenen Auges zu durchdringen und die Nervendendriten desselben zur Lichtempfindung zu erregen; und was sich durch eine Linse und Cornea erreichen läßt, muß sich durch jeden anderen Körper oder durch jede andere Combination von Körpern erreichen lassen, welche mit den optischen Medien des Auges die Eigenschaft gemein hat, alle Arten von Strahlen in hohem Grade zu absorbiren, aber doch von den und leuchtenden noch ein gewisses Quantum durch-

*) Pogg. Ann. Bd. LVI. S. 574.

**) Pogg. Ann. Bd. LIV. S. 593.

zulassen. Hiermit fallen nun, schließt Brücke, die Versuche mit grünem Glase und Wasser, mit Alaun und anderen athermanen oder fast athermanen Körpern, insofern sie Beweise gegen die Identitätshypothese sein sollen, in nichts zusammen, und man begreife sehr leicht, wie eine Steinsalz- und Alaunplatte von ganz gleicher Durchsichtigkeit ganz verschieden diatherman sein können.

Helmholtz *) fand indeß durch Versuche über die Empfindlichkeit der menschlichen Netzhaut für die brechbarsten Strahlen des Sonnenlichtes, daß die Netzhaut im Stande ist, alle Strahlen des Sonnenlichtes direct wahrzunehmen, deren Brechbarkeit die der äußersten rothen Strahlen übertrifft. Die Substanz der Netzhaut dispergirt aber unter dem Einflusse der übervioioletten Strahlen gemischtes Licht minderer Brechbarkeit, dessen Gesamtfarbe nicht ganz reines (graulich blaues) Weiß ist. Die Fluorescenz **) der Netzhaut ist jedoch, wie Helmholtz hinzusetzt, kein hinreichender Erklärungsgrund dafür, daß die übervioioletten Strahlen überhaupt wahrgenommen werden.

Wir haben bereits in diesem Artikel, bei Darstellung der Gesetze der strahlenden Wärme alle die Umstände hervorgehoben, welche auf eine Identität der Licht- und Wärmestrahlen bestimmter hinzudeuten scheinen. Erinnert sei hier nur an die hierauf bezüglichen Untersuchungen von De la Provostaye und Desains, von Jamin und Masson, und an die neueren von Franz über die Diathermanität gefärbter Flüssigkeiten, nach welchen z. B. die blauen Lösungen des schwefels. Kupferoxyds das Minimum des Wärmeverlustes in der blauen Zone, und die grünen Lösungen von schwefels. Eisenorydul in der grünen Zone des Spectrum zeigen.

Die Identität von Licht- und Wärmestrahlen haben wir nun so zu verstehen, daß außer den Strahlen, welche leuchtend und bis zu einem gewissen Grade wohl auch wärmend wirken, noch viele andere existiren, die zwar auf Schwingungen desselben Aethers, wie jene, beruhen, aber in der Art, daß die zugehörigen Aetherwellen von größerer Länge und darum von geringerer Brechbarkeit sind, so daß dieselben wohl wärmend, aber nicht leuchtend wirken können, sei es nun, daß sie, wie es am wahrscheinlichsten ist, von den optischen Medien des Auges absorbirt werden, oder daß sie überhaupt nicht im Stande sind, die Netzhaut des Auges zu erregen, weil ihre Schwingungen zu langsam sind. Und daneben ist es möglich, daß auch solche Aetherschwingungen, deren Schnelligkeit über eine gewisse Grenze hinausgeht, entweder vom Auge absorbirt oder die Netzhaut desselben nicht in entsprechender Weise zu afficiren vermögen, während sie sich auf andere Weise in Folge ihrer Rapidität, wohl noch durch gewisse Wirkungen bemerklich machen können.

Eine dunkle Wärmequelle sehen wir also nicht, weil die von ihr ausgehenden Aetherwellen zu lang oder die Schnelligkeit der vibrirenden Aethertheilchen zu gering ist. Bilden sich aber mit zunehmender Temperatur kürzere Aetherwellen oder schnellere Schwingungen der zugehörigen Aetherelemente, so wird die Wärmequelle auch sichtbar.

Bei schwacher Erwärmung, sagt Melloni *** in Bezug auf die früher besprochenen Versuche Draper's, schwingen die Theilchen der Körper langsam

*) Pogg. Ann. Bd. XCIV. S. 205.

**) Vergl. den Art. Zerstreuung des Lichtes.

***) Phil. Magaz. Ser. III. Vol. XXXII. p. 262. Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 62.

und erzeugen in dem umgebenden ätherischen Medium lange, nicht leuchtende Wellen. So wie die Temperatur steigt, nehmen diese Schwingungen hauptsächlich an Größe zu, ohne ihren Isochronismus zu ändern; allein einige derselben wachsen auch an Schnelligkeit. Doch wird dieser Anwuchs bis nahe zum Punkte des Glühens nicht sehr deutlich. Hierauf beginnt eine Portion der wägbaren Theilchen schneller zu schwingen als der Rest, und sie erzeugt im Aether kürzere Undulationen, welche daher brechbarer sind und zum Theil sichtbar werden. Alle tragen dazu bei, die Stärke und Mannichfaltigkeit der Ausstrahlung zu erhöhen, bis zuletzt in der strahlenden Gluth aus Wärmequellen von hoher Temperatur eine große Anzahl dunkler und leuchtender Wärmestrahlen vereinigt gefunden werden. — Indessen giebt es gewisse Körper, bei denen der Zustand des Molecular-Gleichgewichtes ein solcher ist, daß ihre Theilchen eine große Leichtigkeit zum Vibriren besitzen. Die Theilchen erlangen weit vor dem Zeitpunkte des Glühens, alle oder zum Theil, jene Geschwindigkeit des Vibrirens, welche die leuchtenden Strahlen bedingt. Und solche Körper sind die phosphorescirenden.

Verbindet sich ein Körper chemisch mit einem anderen, so gerathen seine Atome momentan in eine sehr heftige Vibrationsbewegung, wornach die Schwingungen wieder langsamer werden. So scheint es sich bei den Flammen zu verhalten, die bei der Verbrennung der Körper entstehen. Dieselben beginnen fast immer, wie Melloni bemerkt, mit einem blauen oder violetten Lichte und werden dann weiß oder gelb. Jenes Licht beruht aber, wie man weiß, auf schnelleren Aetherschwingungen, als das gelbe.

Nun kommen die Aetherschwingungen, welche unser Sehorgan nicht zu afficiren vermögen, nicht bloß in den Strahlungen vor, die aus heißen, aber dunklen Körpern herkommen, sondern auch in solchen, welche aus leuchtenden Quellen entspringen. Diese sogenannten unsichtbaren Strahlen sind nicht durchweg homogen, sondern von verschiedener Art (d. h. von verschiedener Schwingungsart) und in ihren specifischen Eigenschaften ganz analog denen der sogenannten Farbstrahlen. Und hierin liegt nach Melloni der Ursprung der Phänome von chemischer und calorischer Transmission und Diffusion.

Die Wärmeerregung durch Reibung bietet nun nach der Vibrationstheorie der Wärme im Wesentlichen keine Schwierigkeit, selbst wenn dieselbe als unbegrenzt angenommen wird. Die Atome der Körper werden durchs Reiben in stärkere Schwingungen versetzt, die im umgebenden Aether entsprechende Wellen veranlassen, und sich mit dem Reiben fortdauernd erneuern.

Auch sei hier noch bemerkt, daß die neuere Theorie vom mechanischen Aequivalent der Wärme die Vibrationstheorie der letzteren gewissermaßen zu ihrer Voraussetzung hat, und jedenfalls nur durch dieselbe ihre volle Bedeutung gewinnen kann. —

Während zwischen den Licht- und Wärmestrahlen eine so durchgreifende Uebereinstimmung besteht, daß sich eine Identität beider in dem angegebenen Sinne behaupten läßt, findet man dagegen zwischen den Licht- und Wärmephänomenen einerseits und den elektrischen Erscheinungen andererseits verhältnißmäßig nur schwache Analogien.

Als eine Analogie zwischen Electricität und Wärme läßt sich allensfalls der Umstand betrachten, daß gute Wärmeleiter auch gute Electricitätsleiter sind; doch hat dies eigentlich nur Bedeutung in Rücksicht der festen Körper (Metalle), indem

hinsichtlich der tropfbar flüssigen Körper, die zugleich Elektrolyte sind, zum Theil andere Verhältnisse eintreten. Kirchhoff *) erhielt für die Fortpflanzung der Elektricität im Falle eines großen Widerstandes Gleichungen von derselben Form, wie sie diejenigen haben, welche die Fortpflanzung der geleiteten Wärme ausdrücken. Auch fand Thomson **), daß die Elektricität in submarinen Telegraphendrähten sich nach ähnlichen Gesetzen, wie die geleitete Wärme, fortpflanze. Uebrigens kann es nach Thomson's Rechnungen bei der Entladung eines elektrisirten Conductors zwei Arten von elektrischen Bewegungen geben, nämlich eine continuirliche und eine oscillatorische. Und auch Kirchhoff gelangte auf mathematischem Wege, unter gewissen Bedingungen, zu einer oscillatorischen Bewegung. Für einen gewissen Grenzfall, dem sich die in einem Leiter wirklich stattfindende Bewegung der Elektricität um so mehr nähert, je geringer der Widerstand des Leiters wird, ergab sich eine vollständige Analogie zwischen der Fortpflanzung der Elektricität in einem Drahte und der Fortpflanzung einer Welle in einer gespannten Saite oder in einem longitudinal schwingenden elastischen Stabe.

Die elektrischen Erscheinungen deuten nun zwar gleichfalls auf ein besonderes Agens hin, das unter den Begriff des Aethers fällt, so daß dessen Elemente in Wechselwirkung mit den Massenheilchen diese Erscheinungen bedingen mögen; allein es ist noch fraglich, ob dieses Agens identisch ist mit dem Lichtäther. Freilich hat man wohl schon daran gedacht, daß auch die Erscheinungen der Elektricität erzeugt werden möchten lediglich durch gewisse Schwingungen desselben Aethers, welchen man den Phänomenen des Lichtes und der Wärme zu Grunde gelegt hat; doch ist man in dieser Beziehung nicht über die allgemeinsten Vermuthungen hinausgekommen. Wenn sich auch wirklich unter gewissen Voraussetzungen für gewisse Fälle eine wellenartige Fortpflanzung der Elektricität feststellen läßt, so ist damit doch noch keine eigentliche Veranlassung zu der Behauptung gegeben, daß die Elektricität selbst nach ihrer ganzen Erscheinungsweise ein bloßes Resultat gewisser Aetherschwingungen sei. Eine solche, in manchen Fällen stattfindende, wellenartige Fortpflanzung der Elektricität ist auch mit den bisherigen Ansichten über das Wesen der letzteren verträglich, indem man diese Bewegungsweise eben auf das sogenannte elektrische Feldum selbst bezieht. Wir müssen aber im Hinblick auf eine reine Oscillationstheorie der Elektricität bedenken, daß schon verschiedene Erscheinungen des Lichtes (und die entsprechenden der Wärme) mannichfache Oscillationszustände der Aetherelemente erfordern, als da sind Oscillationen in geradlinigen, kreisförmigen und elliptischen Bahnen. Der erfahrungsmäßig gegebene elektrische Gegensatz (zwischen der sogen. positiven und sogen. negativen Elektricität) ist seiner Erscheinung nach sehr verschieden von dem, was man die Polarisation des Lichtes und der Wärme nennt, und die Wahrscheinlichkeit, diesen Gegensatz auf verschiedene Schwingungszustände des Aethers zurückführen zu können, erscheint gering, wenn man auch die Möglichkeit nicht in Abrede stellen kann und mag. Man kann vielleicht mit Grund behaupten, daß der Gedanke, auch die Erscheinungen der Elektricität müßten lediglich auf gewissen Schwingungszuständen des Lichtäthers beruhen, eine gewisse Liebhaberei ist, die man aus den Gebieten des Lichtes und der Wärme in die Elektricitätslehre mit hinübernimmt.

*) Pogg. Ann. Bd. C. S. 193; Bd. CII. S. 529.

**) Phil. Mag. Ser. IV. T. II. p. 137.

Postulirt man aber dennoch zur Erklärung der elektrischen Erscheinungen, wie noch gewöhnlich, zwei qualitativ entgegengesetzte (elektrische) Fluida, so entfernt man sich meines Erachtens wieder zu weit von den Erklärungsprincipien, die in der Licht- und Wärmelehre zur Geltung gekommen sind, was wohl weniger der Fall ist, wenn man nur Ein elektrisches Fluidum annimmt, dessen Elemente in ähnlicher Weise wie die Elemente des Lichtäthers um die Atome und Massentheilchen der Materie gruppiert sind. Ein solches Agens scheinen die elektrischen Erscheinungen, wie gesagt, zu fordern, und es kann nun allerdings die Frage erhoben werden, ob nicht etwa dieses Agens, nämlich das Eine elektrische Fluidum identisch sei mit dem Aether, der Licht und Wärme bedingt. Ich selbst bin geneigt, diese Frage zu bejahen, und damit auch anzunehmen, daß Licht, Wärme und Elektricität, so zu sagen, durch ein gemeinsames Band eng verknüpft sind.

Die Elemente des Aethers sind, wie wir wissen, um die Atome und Massentheilchen der Materie sphärenartig gruppiert, so daß denn auch jedem Aggregate solcher Massentheilchen, nämlich jedem Körper eine verdichtete Aetherhülle zukommt (vergl. Art. Materie, Bd. IV. S. 944 Fig. I. und II.). Zwischen den Elementen dieser Sphären besteht, vermöge ihrer repulsiven Kräfte, ein gewisses Spannungsverhältniß, das durch mechanische, physikalische und chemische Einwirkungen einer Gleichgewichtstörung unterworfen ist, wie dies z. B. der Fall sein wird, wenn zwei verschiedenartige Körper aneinander gerieben und dadurch die Atome derselben in stärkere Schwingungen versetzt werden. In Folge dieser Gleichgewichtstörung kann nun für den Aether Veranlassung entstehen, zum Theil aus dem einen Körper in den anderen überzugehen, so daß die geriebenen Körper sich rücksichtlich ihrer Aetherhüllen und in Bezug auf ihre Umgebung in verschiedenen Zuständen befinden, die eben die sogenannten elektrischen Zustände sind. Während nun die Elektricitätsentwicklung durch Reibung ihr Maximum findet, insofern für ein bestimmtes Maß gegenseitiger Einwirkung das gestörte Gleichgewicht zwischen den Spannungsverhältnissen der Aetherelemente nur eine bestimmte Quantität des Aethers aus der Hülle des einen Körpers in die Aetherhülle des anderen übergehen läßt, ist dagegen die Wärmeerregung durch Reibung, insofern sie lediglich auf den Schwingungen der Atome und der umgebenden Aetherelemente beruht, unbegrenzt.

Mit Rücksicht auf die Art. Elektricität, Galvanismus &c. kann man erkennen, daß sich die elektrischen Erscheinungen unter der hier gemachten Voraussetzung in der Hauptsache noch ebenso erklären lassen, wie dort, wo Ein besonderes elektrisches Fluidum angenommen wurde. Doch wollen wir darüber zur weiteren Orientirung hier noch einige Betrachtungen in Bezug auf etliche specielle Punkte anstellen.

Von der Hülle desjenigen Körpers, welcher einen Zuwachs an Aether empfangen hat, geht nun, in Folge der gesteigerten Spannung zwischen den Aetherelementen, ein gewisser Druck aus, der sich durch die Aethersphären, welche die Massentheilchen der umgebenden Materie einhüllen, weiter fortpflanzt. Hierbei erfahren diese Sphären, im Sinne der Fortpflanzung des Druckes, eine Verschiebung, so daß ihre Form eine gewisse Veränderung (Polarisirung) erleidet und die Massentheilchen auch nicht mehr ganz in der Mitte ihrer Aetherhüllen bleiben werden. Diese Verschiebung ist aber bei verschiedenen Körpern mehr oder weniger beträchtlich, je nach der Stärke, womit die Aetherhüllen den Massentheilchen adhären, was mit dem

Unterschiede der guten und schlechten Elektricitätsleiter zusammenhängt, in der Art, daß die Aetherhüllen um die Massentheilchen bei jenen leichter als bei diesen eine Verschiebung oder eine andere Gruppierungsweise ihrer Elemente zulassen. So wird sich nun jener Druck durch ein schlecht leitendes Medium fortpflanzen, ohne die Aethersphären um die Massentheilchen desselben beträchtlich aus ihrer Gleichgewichtslage zu verschieben. Befindet sich aber innerhalb dieses Mediums ein guter Leiter, so wird der erwähnte Druck die die Massentheilchen des letzteren umschließenden Aethersphären beträchtlicher von der einen Seite, woher er selbst kommt, nach der entgegengesetzten Seite hin verschieben, und also dort eine gewisse Verdünnung, hier eine entsprechende Verdichtung in der Aetherhülle des Leiters bewirken. Und so ist der Leiter auf seiner einen Hälfte, welche der Wirkung des Druckes zunächst ausgesetzt ist, in einem anderen (entgegengesetzt elektrischen) Zustande wie der Körper selbst, der den Druck zunächst ausübt, auf der anderen Hälfte aber mit ihm in demselben Zustande. Hierbei findet jedoch, so lange der Leiter isolirt ist, ein eigentliches Uebergehen des Aethers von einem Massentheilchen zum anderen nicht statt. In diesem Vorgange bestände nun das Gesetz der sogenannten elektrischen Vertheilung. Der Körper aber, von welchem der betreffende Druck ausgeht, kann freilich in seinen gewöhnlichen Zustand nur dadurch zurückkehren, daß er den empfangenen Ueberschuß an Aether wieder abgibt, wozu auch das Streben in Folge der gesteigerten Spannung zwischen den Aetherelementen stets vorhanden ist. In dem Moment nun, wo der Körper diesen Ueberschuß an Aether verliert, geht dasjenige vor, was man die Ausgleichung der entgegengesetzt elektrischen Zustände zu nennen pflegt.

Denken wir uns einen anderen Körper, dessen Aethersicht in Folge der Reibung oder auf sonstige Weise eine gewisse Verdünnung erfahren hat; so kann dies nicht gleichgültig sein für die Spannungsverhältnisse der Aethersphären, welche die Massentheilchen der umgebenden Materie einhüllen. Diese Sphären dehnen sich jetzt nach dem betreffenden Körper hin, der wieder so viel Aether in seine Hülle aufzunehmen sucht, als er eingebüßt hatte. Es geschieht nun hier im Wesentlichen dasselbe wie vorhin, nur daß der herrschende Aetherdruck nicht gegen die Umgebung des elektrischen Körpers, sondern vielmehr von jener gegen diesen selbst gerichtet ist.

Sind die Spannungsverhältnisse des Aethers auf der Oberfläche verschiedenartiger Körper, die sonst mit den Aethersphären ihrer Umgebung im Gleichgewichte stehen, nicht ganz dieselben, so wird dieser Umstand eine bestimmte Folge haben müssen, wenn solche Körper bis zur Berührung einander nahe kommen. Geht nun eine gewisse Quantität des Aethers aus dem einen Körper zu dem anderen über, so kann dies zu einem Gleichgewichte der Aetherspannung rücksichtlich der einander zugewandten und sich berührenden Seiten der Körper führen, während auf den entgegengesetzten Seiten bei dem einen Körper eine gewisse Verdünnung, bei dem anderen eine entsprechende Verdichtung der Aetherhülle stattfindet. Beide Körper sind nun in entgegengesetzt elektrischen Zuständen; der eine ist geneigt, so viel Aether wieder aufzunehmen, als seinem eigenen Gleichgewichtszustande entspricht, und der andere ebenso viel abzugeben. Allein so lange die Berührung beider Körper dauert, macht sich auch der materielle Gegensatz derselben, der durch die verschiedene Qualität ihrer Grundatome bedingt ist, immer wieder von Neuem in derselben Weise geltend.

Die Ladung einer galvanischen oder volta'schen Säule besteht in einer Verschiebung des Aethers aus seiner normalen Gleichgewichtslage um die Massentheilchen der einzelnen Kettenlieder, und zwar von dem einen Pol nach dem anderen hin. Verbindet man beide Pole durch einen Leiter, so pflanzt sich in



diesem die Verschiebung fort, was dadurch geschieht, daß der Druck des am Pol A verdichteten Aethers die Sphären um die Massentheilchen des Leiters

nach der entgegengesetzten Seite, d. h. nach dem Pol B hin zu treiben sucht, während die Aethersphären der dem letztgenannten Pol zunächst liegenden Massentheilchen nach diesem hindrängen, weil hier der Aether bis zu einem gewissen Maße verdünnt ist. So greift die Sphäre eines jeden Massentheilchens von dem Pol A nach B hin in die Sphäre des nächsten Massentheilchens dergeſtalt ein, daß jede Sphäre an der einen Seite, welche dem Pol A zugekehrt ist, eine Verdünnung, an der entgegengesetzten Seite aber eine Verdichtung erfährt. Die Entladung der Säule besteht nun darin, daß die Sphäre eines jeden Massentheilchens der Sphäre des nächsten Massentheilchens ein gewisses Quantum Aether mittheilt, und dies geschieht gleichzeitig von beiden Polen her, insofern von dem Pol A aus etwas in das zunächst gelegene Massentheilchen eindringt, und zugleich der andere Pol B von dem ihm zunächst gelegenen Massentheilchen des Schließungsleiters einigen Aether aufnimmt. Dann erfolgt die Mittheilung des Aethers successiv von einem Massentheilchen zum anderen, gleichzeitig von beiden Polen nach der Mitte des Schließungsbogens hin. Der Uebergang des Aethers geschieht aber stets an der Seite der Sphäre, wo diese verdichtet ist, und wo in Folge dessen eine verstärkte Repulsion zwischen den Aetherelementen statt hat; hier löst sich ein Theil der Aethersphäre ab, um sich der nächsten Sphäre hinzuzugesellen. Indem nun die übergehenden Aetherelemente gegen die zurückbleibenden abstoßend wirken und sich gegen diese, im Moment des Uebergehens, gewissermaßen stemmen, üben sie gegen das betreffende Massentheilchen, dem sie zugehörten, eine Rückwirkung aus, welche eine Verschiebung der Massentheilchen selbst vom Pol B nach A hin zur Folge hat. Hierbei gerathen nun auch die die Massentheilchen constituirenden Atome in stärkeren Schwingungen, worin die Ursache für die Wärmerregung des elektrischen Stromes liegt. Während sich so die Säule durch den Schließungsbogen entladet, kehren die Aetherhüllen der Massentheilchen wieder in ihre normale (sphärische) Form zurück, aber freilich nur momentan, insofern mit der Entladung durch den Schließungsbogen eine neue Ladung der Säule verbunden ist, und daher auch der bezeichnete Vorgang sofort von den beiden Polen aus erneuert wird.

Beiläufig noch die Bemerkung, daß die Punkte in der obigen Figur nicht einfache Atome, sondern Massentheilchen, d. h. Combinationen von Atomen vorstellen sollen.

Wir können nun sagen, die Erscheinungen der Electricität beruhen darauf, daß die normale Gruppirungsweise der Aetherelemente, welche die Massentheilchen der Materie umhüllen, eine Veränderung erfährt, wobei aber die Aethersphäre um das jedem Massentheilchen zugehörige Centralatom vielleicht nur sehr wenig abgeändert wird. Während die Erscheinungen des Lichtes und der Wärme in einer schwingenden Bewegung der Atome und der umgebenden Aetherelemente bestehen, beruhen die dynamischen Erscheinungen der Electricität insbesondere auf

einer translatorischen Bewegung des Aethers, die sich jedoch bezüglich der einzelnen Aetherelemente in sehr engen Grenzen hält, so daß eben nur ein theilweiser Uebergang des Aethers von einem Massentheilchen zum nächsten stattfindet. In diese Bewegung läßt sich gewissermaßen einer undulatorischen vergleichen, und es würde im Wesentlichen noch derselbe Effect resultiren, wenn jede Sphäre im raschen Wechsel nur die bezeichnete Formänderung erlitt, also abwechselnd, in Folge der abgeänderten Druckverhältnisse, sich gegen das nächste Massentheilchen hin dehnte und dann wieder in die normale Form zurückkehrte. Doch halten wir es im Hinblick auf die Gesamtheit der elektrischen Erscheinungen für wahrscheinlicher, daß sich im Moment der Entladung von jeder Sphäre, da wo sie in die Sphäre des nächsten Massentheilchens eingreift und wo sie verdichtet ist, ein Theil ablöst, welcher sich dann der nächsten Sphäre hinzugesellt. Da diese Formveränderung der Aethersphären von beiden Polen aus nach der Mitte des Schließungsbogens successiv fortschreitet, so werden die Sphären der hier befindlichen Massentheilchen noch in der bezeichneten Formveränderung begriffen sein, während die Sphären der den Polen näher gelegenen Massentheilchen bereits wieder in ihre normale Position zurückgekehrt sind und die betreffende Formveränderung von Neuem erfahren, u. s. f.

Jeder Proceß nun, der eine translatorische Bewegung des Aethers veranlaßt, wird mehr oder weniger von einer elektrischen Erscheinung begleitet sein. Sehen z. B. Massentheilchen ungleichartiger Körper in einem bestimmten quantitativen Verhältniß eine chemische Verbindung ein, so werden sie mit ihren Aethersphären tiefer in einander eindringen und sich zu einem Massentheilchen höherer Ordnung zusammenfügen, wobei die einzelnen Sphären eine gemeinsame Sphäre um dasselbe zu bilden suchen. Dabei kann aber, um eine Ausgleichung zwischen den ungleichen Spannungsverhältnissen der verschiedenen Sphären herbeizuführen, ein theilweiser Uebergang des Aethers von einer Sphäre zu einer anderen, also eine translatorische Bewegung desselben erforderlich sein. Und insofern als dies der Fall ist, und die dabei zugleich stattfindenden Schwingungen der Atome in dem umgebenden Aether eine Wellenbewegung verursachen, wird mit Licht und Wärme auch ein elektrischer Vorgang verbunden sein. Auch bei Aenderungen des Aggregatzustandes, namentlich beim Uebergang aus dem gasförmigen in den tropfbar flüssigen, und aus diesem in den starren Zustand kann solches stattfinden.

Wirken die Wärmestrahlen der Sonne auf das die Erde bedeckende Wasser, so werden die Atome des letzteren in der den Strahlen zunächst ausgesetzten Schicht in stärkere Schwingungen versetzt, die Massentheilchen des Wassers treten wieder aus einander und werden schließlich isolirt. Während dies nun geschieht, d. h. während der Verdampfung, sind die Massentheilchen des Wassers fähiger, eine größere Quantität des Aethers inniger um sich zu gruppiren als ihnen während ihrer Verbindung mit anderen möglich war, insofern nämlich, als die Spannung zwischen den Elementen ihrer Sphären jetzt geringer ist. So nehmen sie von den zunächst tiefer gelegenen Massentheilchen des Wassers, zwischen deren Aethersphären die Spannung noch größer ist, eine gewisse Quantität Aether auf, die denselben jedoch sofort von anderen Massentheilchen des Wassers ersetzt wird, da dieses mit der Erde überall in leitender Verbindung steht. Nun verbreiten sich die durch den Proceß der Verdunstung isolirten Massentheilchen des Wassers in die Atmosphäre, ohne Spuren freier Electricität zu verrathen, was aber geschehen

wird, sobald der Wasserdampf eine beträchtliche Condensation erfährt, also die Wassertheilchen einander näher rücken und zunächst Dunstbläschen bilden. Hierbei wird der Ueberschuß an Aether, welchen die Wassertheilchen während der Verdunstung des Wassers aufgenommen hatten, wieder ausgeschieden, und zwar mehr oder weniger, je nach dem Maße der Condensation. Findet die letztere, wie bei der Gewitterbildung auf eine sehr energische Weise statt, so sammelt sich der ausgeschiedene Aether zunächst auf der Oberfläche der einzelnen Dunstbläschen, von wo er theilweise aus dem Innern der Wolke heraus, vermöge der hier bestehenden stärkeren Spannung oder Repulsion zwischen den Aetherelementen, in eine translatorische Bewegung nach der Oberfläche hin geräth, um hier als sogenannte freie Electricität einen Ausweg zu suchen. Der dafelbst verdichtete Aether übt dann zunächst einen Druck aus gegen die Aetherisphären um die Molecüle der umgebenden Materie, nach dem Geetze der sogenannten elektrischen Vertheilung, das wir schon oben betrachtet haben. Auf solche Weise entsteht die sogenannte negative Electricität der Gewitterwolken, keineswegs aber die sogenannte positive Electricität der atmosphärischen Luft (als solcher), die von unten nach oben zunimmt, und vielmehr auf die ursprüngliche Gruppierungsweise des Aethers um die Lufttheilchen zurückzuführen ist, so daß die höheren Luftschichten in Bezug auf die Erde selbst nach der gewöhnlichen Bezeichnungsweise eben als positiv elektrisch zu betrachten sind (vergl. hierzu Art. Luftpolelectricität, Bd. IV. S. 684, 698 bis 705). Wir wollen hier nur noch beiläufig bemerken, daß der sogenannte positiv elektrische Zustand der höheren Luftschichten nicht ohne Einfluß sein kann auf die Anordnung des in einer Gewitterwolke ausgeschiedenen Aethers. Hat eine solche Wolke eine beträchtliche Ausdehnung nach der verticalen Dimension oder geht sie einigermaßen hoch, so wird sich der in ihr ausgeschiedene Aether vorzugsweise nach oben, wo der Gegendruck der Aetherelemente, welche um die Luftmolecüle gruppirt sind, schwächer ist, d. h. den dünneren positiv elektrischen Luftschichten zuwenden, und somit an der obersten Lücke der Wolke ansammeln. Dadurch wird aber der mittlere, untere Theil der letzteren selbst positiv elektrisch, während der Aether nur noch an den seitlichen Rändern der Wolke als sogenannte freie negative Electricität gegen die Erde hin wirksam sein wird. Dies erinnert an die neuerdings von Palmieri an einem Luftpolektrometer gemachten und von Dellmann *) bestätigten Beobachtungen, nach welchen Gewitterwolken ein positives Centrum und einen negativen Gürtel darbieten. Die von letzterem beobachteten Gewitterwolken, an welchen sich diese Erscheinung zeigte, waren keine im Zustande der elektrischen Entladung befindliche. Schreitet die Condensation des Wasserdampfes in der Gewitterwolke stufenweise zu einer energischen Tropfenbildung fort, so wird die besagte Anordnung des ausgeschiedenen Aethers wohl eine Veränderung erfahren, indem nun eine weitere translatorische Bewegung dieses Aethers und damit eine sogenannte elektrische Entladung der Wolke erfolgt.

Wir brauchen hier die angeregten Betrachtungen über die Electricität nicht weiter fortzusetzen, sondern können auf die Art. Electricität, Elektromagnetismus, Funke, Galvanismus, Leiter der Electricität und Luftpolelectricität verweisen. Es kommt zunächst nur darauf an, daß dort als Electricum bezeichnete ätherische Fluidum mit dem sogenannten Nichtäther

*) Pogg. Ann. Bd. CIII. S. 166.

zu identificiren, während das sonst zur Ableitung der Erscheinungen aufgestellte Erklärungsprincip im Wesentlichen unverändert bleiben kann. Und dieses Princip besteht also im Allgemeinen darin, daß die Aetherclemente, welche die Atome und Massentheilchen der Materie sphärenartig einhüllen, auf Grund besonderer Veranlassungen vorübergehend einer verschiedenen Gruppierungsweise und innerhalb enger Grenzen auch einer translatorischen Bewegung fähig sind, deren Wirkungen sich jedoch auf die bezeichnete Weise durch einen beträchtlichen Raum zu erstrecken vermögen. An einem anderen Orte werden wir aber Gelegenheit finden, diese Betrachtungen in Rücksicht der einzelnen elektrischen Erscheinungen weiter fortzusetzen *).

Wage (Waage) ist ein Instrument, welches dazu dient, das Gewicht der verschiedenen Körper zu bestimmen. So verschieden auch die Wagen sind, im Allgemeinen gründet sich ihre Einrichtung auf die bekannten Gesetze des Hebels (s. Art. Hebel, Bd. III. S. 707), indem man an einem solchen den zu wiegenden Körper mit Körpern von bekanntem Gewichte in's Gleichgewicht bringt, und aus der Gleichheit der statischen Momente berechnet oder überhaupt ermittelt, in welchem Verhältnisse das zu bestimmende unbekannte Gewicht zu dem bekannten steht. Andere Principe hat man allerdings auch zur Gewichtsbestimmung zu verwenden gesucht, indessen dürfte hier nur noch die Federwage in Betracht zu ziehen sein. Faßt man den Begriff der Wage weiter, nicht bloß zur Ermittlung der durch die Schwere bedingten Zugkraft der Körper, sondern zur Ermittlung der Größe von Kräften oder deren Wirkungen überhaupt bestimmt, so würden zu diesem Artikel auch die Dynamometer gehören. Das auf diese Apparate Bezügliche hat jedoch schon seine Erleuchtung gefunden in dem Art. Dynamometer, Bd. II. S. 572 und Art. Kraftmesser, Bd. IV. S. 341. Auch die Drehwage hat ihren besonderen Artikel in Bd. II. S. 548 erhalten, dergleichen die Wasserwage im Artikel Libelle, Bd. IV. S. 465 und die Senkwage im Art. Kräometer, Bd. I. S. 278. Wir haben uns also hier lediglich auf die Einzugs des dieses Artikels bezeichneten Instrumente zu beschränken, bei deren Besprechung wir uns vorzugsweise an ihre Einrichtung halten werden, indem wir die zu bestimmten Zwecken etwa erforderlichen Modificationen an den betreffenden Stellen beifügen. Hiernach ergeben sich zwei Arten von Wagen, die sich auf den Hebel gründen, nämlich gleicharmige und ungleicharmige.

Repräsentant der gleicharmigen Wagen ist die sogenannte Krämerwage.

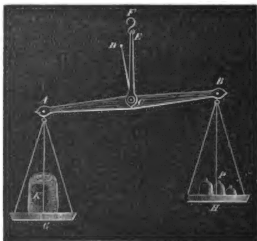
Beim Wiegen mit der Krämerwage soll das Gewicht genau gleich sein dem zu wiegenden Körper, so daß keine weitere Berechnung nöthig ist; außerdem fordert man von derselben, daß ein kleiner Unterschied in dem Gewichte des Körpers und den Gewichten leicht bemerkt werde.

Da bei dem mathematischen Hebel Gleichgewicht stattfindet, wenn die statischen Momente gleich sind, also wenn $K \cdot Ek = P \cdot Ep$ ist, wo K einen Körper, P ein Gewicht und Ek und Ep die respectiven Entfernungen von dem

*) Vergl. Cornelius, die Lehre von der Electricität und dem Magnetismus, Versuch einer theoretischen Ableitung der magnetischen und elektrischen Erscheinungen. Leipzig bei D. Wigand.

Drehpunkte bezeichnen; so würde man mittelst eines mathematischen Hebels die erste Bedingung erfüllen, wenn $E_k = E_p$ gemacht würde, indem dann auch $K = P$ sein müßte. Diesem Falle sucht man sich dadurch zu nähern, daß man sich eines physikalischen Hebels bedient, welcher unbelastet horizontal in Ruhe steht, indem auch bei einem solchen gleiche Kräfte in gleichen Entfernungen von dem Drehpunkte den horizontalen Stand nicht stören.

Die Krämerwage besteht hiernach aus einem Wagebalken ACB , welcher mittelst der Welle C in der Schere CE ruht, die an dem Hafen F



aufgehängt oder gehalten wird, so daß dieselbe von selbst eine verticale Richtung annehmen kann. Senkrecht auf dem Wagebalken und senkrecht auf der Welle steht die Zunge CD , und unweit der Enden des Wagebalkens in A und B hängen die Schalen G und H . Das erste Erforderniß ist nun, daß, nachdem die Schalen G und H abgehängt sind, der Wagebalken eine horizontale Stellung annimmt, wozu eben die Zunge und Schere dienen, indem bei genau senkrechter Stellung der Zunge zum Wagebalken das Einstecken der Zunge in der von selbst vertical stehenden Schere den horizontalen Stand des Balkens anzeigt. Diese Probe muß jede Wage bestehen. Da nun die Wageschalen selbst Körper sind, welche als Gewichte an der Wage hängen, so ist von ihnen erstens erforderlich, daß sie beide sammt ihren Schnüren und allen, was mit ihnen in Verbindung steht, genau gleiches Gewicht haben, und zweitens in gleichen Entfernungen von der Welle aufgehängt sind. Die zweite Probe, welche eine Krämerwage zu bestehen hat, ist hiernach, daß der Wagebalken dieselbe — wenn auch nicht horizontal — Stellung einnimmt, wenn die beiden Schalen vertauscht werden. Eine Verschiedenheit in diesem Falle ist ein entschiedener Beweis für die Ungleichheit im Gewichte beider Schalen. Da der Wagebalken jedoch bei gleichen Gewichten horizontal stehen soll, so ist auch erforderlich, daß bei dem Umtausch der Wageschalen

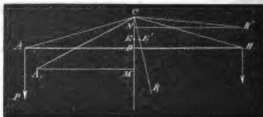
der horizontale Stand des Wagebalkens wirklich eintritt. Nur dann sind die Aufhängepunkte A und B gleichweit von der Stelle C entfernt. Man findet Wagen, welche bei anhängenden Schalen einen horizontalen Stand des Wagebalkens zeigen, aber eine schiefe Stellung desselben erhalten, so wie die Schalen vertauscht werden. Solche Wagen haben nicht nur Schalen von ungleichem Gewichte, sondern auch Aufhängepunkte der Schalen, die sich in ungleichem Abstände von der Welle befinden.

Gesetzt die Wage entspreche bis dahin allen Erfordernissen und bestehe die angegebenen drei Prüfungen, so ist damit doch nur erst der Forderung Genüge geschehen, daß beim Gleichgewichte das Gewicht dem zu wiegenden Körper gleich ist; es soll aber auch bei noch nicht vollem Gleichgewichte der größere oder kleinere Gewichtsunterschied kenntlich gemacht werden. Das Kennzeichen hierfür ist der größere oder kleinere Ausschlagswinkel nach der stärker belasteten Seite hin. Der Wagebalken ist nämlich als physischer Hebel ein Körper, welcher selbst Gewicht und mithin einen Schwerpunkt besitzt, welcher nicht, wie bei dem mathematischen Hebel, mit dem Unterstützungspunkte des Hebels zusammenzufallen braucht. Es sind in Betreff der gegenseitigen Lage des Schwerpunktes und des Unterstützungspunktes im Zustande des Gleichgewichtes drei Fälle denkbar: beide Punkte könnten zusammenfallen, oder der Schwerpunkt läge oberhalb oder unterhalb des Unterstützungspunktes. Wäre das Erste der Fall, d. h. fielen beide Punkte zusammen, so würde beim Gleichgewichte der Wagebalken in jeder Lage stehen bleiben, bei dem geringsten Uebergewichte auf der einen Seite aber diese Seite herabgehen und der Wagebalken eine verticale Stellung einnehmen, weil der nach der Seite des größeren statischen Momentes hin gerückte Schwerpunkt die tiefste Stelle zu gewinnen sucht, und dies nur bei verticaler Stellung des Wagebalkens der Fall ist. Eine solche Wage wäre unbrauchbar. Läge der Schwerpunkt oberhalb des Unterstützungspunktes, so würde bei stattfindendem Gleichgewichte der Wagebalken allerdings in horizontaler Lage stehen können, aber bei dem geringsten Uebergewichte auf der einen Seite, ja selbst bei der geringsten Erschütterung müßte ein völliges Umschlagen desselben eintreten, indem der aus der verticalen Lage (zum Unterstützungspunkte) gebrachte Schwerpunkt die tiefste Stelle einzunehmen sucht, also unter den Unterstützungspunkt zu gelangen strebt. Es bleibt somit nur der dritte Fall als der bei der Wage brauchbare übrig, daß der Schwerpunkt unterhalb des Unterstützungspunktes sich befindet. In solchem Falle wird beim Gleichgewichte der Wagebalken eine horizontale Lage annehmen und bei nicht stattfindendem Gleichgewichte, ebenso bei eintretenden Erschütterungen wie ein Pendel in schwingende Bewegung gerathen und schließlich in geneigter Lage zur Ruhe gelangen. Die Größe des hierbei sich zeigenden Ausschlagswinkels, d. h. des Winkels, welchen die Zunge mit der Schere, respect. der Verticalen, macht, wird von der größeren oder geringeren Ungleichheit in der Belastung bedingt, indem bei größerem Unterschiede eine stärkere seitliche Verschiebung des Schwerpunktes eintritt, also auch eine größere Neigung erforderlich ist, damit der Schwerpunkt genau unter dem Unterstützungspunkte liege. Eine brauchbare Wage muß nun bei einem geringen Uebergewichte auf der einen Seite schon einen merklichen Ausschlag nach dieser Seite geben, und darf bei einer absichtlichen Neigung des Wagebalkens nicht in der geneigten Lage verbleiben.

Diese allgemeinen Erfordernisse einer brauchbaren Wage lassen sich viel ge-

nauer durch eine mathematische Entwicklung feststellen; eine solche gewährt uns sogar einen noch tieferen Einblick, so daß wir dieselbe hier folgen lassen.

Der Wagebalken $ABDC$ einer Krämerwaage habe das Gewicht G , der Drehpunkt sei in C , die Entfernung desselben von der Verbindungslinie ADB der



Aufhängepunkte der Schalen, also $CD = e$, die Länge der Arme des Wagebalkens $AD = DB = a$, der Schwerpunkt liege in E und CE sei $= S$, in der Schale bei A liege das Gewicht P , in der von B das Gewicht Q und es sei $P > Q$, endlich der Ausschlagswinkel $= \alpha$; so läßt sich beweisen, daß

$$\operatorname{tgs} \alpha = \frac{a(P - Q)}{S \cdot G + e(P + Q)}$$

sein muß.

Da $P > Q$ angenommen ist, so nimmt der Wagebalken eine geneigte Lage, z. B. die Lage A, CB' ein, und die durch den Drehpunkt C gehende Verticale wird mit der Zunge, die wir uns von C abwärts gerichtet denken wollen, einen Winkel $DCB = \angle ACA' = \angle BCB' = \alpha$ bilden. Bezeichnen wir $\angle ACB$ mit 2β , so ist $\angle ACM = \beta - \alpha$, und $\angle B'CM = \alpha + \beta$, wenn A, M und B', N Perpendikel von A , und B' auf CM sind. Alsdann ist

$A, M = A, C \cdot \sin(\beta - \alpha) = A, C \sin \beta \cdot \cos \alpha - A, C \cos \beta \sin \alpha$,
also, da $A, C \sin \beta = A, C \cdot \sin \beta = AD = a$ und ebenso $A, C \cdot \cos \beta = A, C \cdot \cos \beta = CD = e$ ist,

$$A, M = a \cos \alpha - e \sin \alpha.$$

Ebenso ist $B', N = B', C \cdot \sin(\alpha + \beta) = a \cos \alpha + e \sin \alpha$.

Indem die Waage aus der horizontalen Lage ACB in die geneigte A, CB' übergeht, rückt der Schwerpunkt E nach E' , und ein Perpendikel von E' auf CD wird $= CE' \sin \alpha = S \cdot \sin \alpha$.

Nach den Gesetzen des Hebels muß nun in der Lage A, CB' , wenn in derselben Gleichgewicht sein soll,

$$P \cdot A, M = Q \cdot B', N + G \cdot S \cdot \sin \alpha$$

sein, also:

$P(a \cos \alpha - e \sin \alpha) = Q(a \cos \alpha + e \sin \alpha) + G \cdot S \cdot \sin \alpha$,
folglich: $(P \cdot e + Q \cdot e + G \cdot S) \sin \alpha = (P \cdot a - Q \cdot a) \cos \alpha$,

folglich: $\operatorname{tgs} \alpha = \frac{a(P - Q)}{S \cdot G + e(P + Q)}$ *).

*) Vergl. G m m a n n, physikalische Aufgaben. Leipzig 1852. S. 52 u. 145. Aufg. 6.

Betrachten wir dies Resultat näher, so sagt uns dasselbe, daß der Ausschlagswinkel um so größer wird, 1) je größer a ist, d. h. je länger der Wagebalken; 2) je größer $P - Q$ wird, d. h. je größer der Unterschied in dem Gewichte des Körpers und dem der Gegengewichte ist; 3) je kleiner G wird, d. h. je leichter der Wagebalken ist; 4) je kleiner S ist, d. h. je näher der Schwerpunkt der Wage an der Welle sich befindet; 5) je kleiner e ist, d. h. je weniger die Welle über der Verbindungslinie der beiden Aufhängepunkte der Schalen sich befindet, und 6) je kleiner $P + Q$ ist, d. h. je weniger die Wage belastet wird. Wenn $e = 0$ wird, d. h. wenn die Schneide der Welle mit den Aufhängepunkten der Schalen in einer geraden Linie liegt, so ist die Größe des Ausschlagswinkels von der Belastung der Wage ganz unabhängig und

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a(P - Q)}{S \cdot G}.$$

Liegt außerdem auch der Schwerpunkt in der bezeichneten Linie, ist also $S = 0$, so wird $\operatorname{tg} \alpha = \infty$, d. h. der Wagebalken schlägt dann, wie bereits oben bemerkt wurde, bei dem geringsten Uebergewichte auf der einen Seite ganz um und begiebt sich in die verticale Stellung, wenn ihm nicht irgend ein Hinderniß in den Weg tritt.

Liegt die Schneide der Welle mit den Aufhängepunkten der Schalen in einer geraden Linie und ist $P - Q$ ein Mal $= p$, ein anderes Mal $= p'$, so erhält man, wenn man die Ausschlagswinkel respect. durch α und α_1 bezeichnet:

$$\operatorname{tg} \alpha : \operatorname{tg} \alpha_1 = p : p_1,$$

wofür man bei kleinen Ausschlagswinkeln sogar setzen könnte:

$$\alpha : \alpha_1 = p : p_1.$$

Wenn man um den Drehpunkt C der Wage einen Kreisbogen anbrächte, an welchem man den Stand der Zunge ablesen könnte, so würde man aus dem Ausschlagswinkel sogar das Uebergewicht seiner Größe nach bestimmen können, wenn man nur den Ausschlagswinkel, z. B. für 10 Gran markirt und diesen Bogen in Unterabtheilungen getheilt hätte.

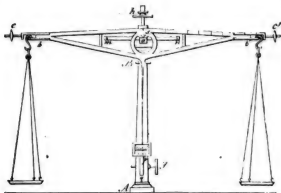
Giebt eine Wage bei gleicher Belastung und gleichem Uebergewichte einen merklicheren Ausschlagswinkel als eine andere, so sagt man, sie sei empfindlicher als die andere. Insbesondere aber beurtheilt man die Empfindlichkeit einer Wage nach dem Verhältnisse des kleinsten Uebergewichtes zur gesammten Belastung, wenn man auf die Wage die größtmögliche Last gebracht hat. Würde eine Wage höchstens 5000 Gran tragen können und bei einem Uebergewichte von $\frac{1}{2}$ Gran noch einen merklichen Ausschlag geben, so würde ihre Empfindlichkeit $\frac{1}{10000}$ sein.

So einfach die Theorie der Krämerwage erscheint, so schwierig ist es dennoch eine vollkommen genaue Wage herzustellen.

Der Wagebalken kann aus Eisen, Stahl oder Weißzinn verfertigt werden. Eisen und Stahl haben den sichern Vorzug der größeren Festigkeit; Weißzinn hingegen gewährt den Vortheil, daß es nicht magnetisch wird. Man hat ihn häufig massiv und so, daß er höher als dick ist und gegen beide Enden verjüngt zuläuft, um bei einem geringen Gewichte doch hinreichende Festigkeit zu haben. Manche Künstler verfertigen Wagen mit hohlen Balken, die zwei abgeflumpfte, an ihrer Basis zusammengefügte Kegel vorstellen — das physikalische

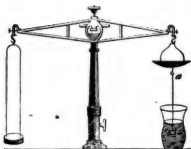
Cabinet zu Bonn besitzt eine solche Wage —; auch Balken aus stark gehämmertem, dickem durchbrochenem Messingbleche thun gute Dienste. Die beigelegten beiden Zeichnungen stellen solche durchbrochene Wagebalken vor. Diese Construction gewährt darum besondere Festigkeit, weil, wenn die auf den Schalen liegende Last

I.



den Wagebalken an seinen Enden herabbiegen wollte, die untere Kante $h h'$ das Bestreben erhielte sich mehr gerade zu strecken, die obere hingegen sich mehr zu krümmen.

II.



Das Erstere würde ein weiteres Auseinanderrücken der Endpunkte $h h'$ zur Folge haben, das Zweite eine Annäherung; da aber die feste Verbindung der Endpunkte und der unteren und oberen Kante durch die zwischen ihnen stehenden Streben diese Veränderungen nicht zuläßt, so behält der Balken seine Form und mithin auch seine Festigkeit. Es ist dies im Wesentlichen dieselbe Construction, welche man bei Dachstuhl, Brückenbogen und dergleichen anbringt, bei welchen keine Pfeiler zum Tragen gestattet werden können, nur daß in diesen Fällen die obere Kante gestreckt, die untere verkürzt würde, wenn nicht eben ein fester Verband an den Enden und vermittelt der zwischenstehenden Streben angebracht wäre *). — Es giebt auch vortreffliche Wagen, deren Balken aus einem dünnen Stahlstücke, wie aus einer Uhrfeder bestehen, das aber, um jeder Krümmung vorzubeugen, mit einer oben der ganzen Länge

*) Vergl. Dingler's polyt. Journ. Bd. LXXIII. S. 348.

nach darauf geschraubten oder gelötheten Stahlplatte versehen ist, so daß ein solcher Balken im Querschnitte Tförmig aussieht.

Daß mit der Länge des Balkens unter sonst gleichen Umständen die Empfindlichkeit der Wage wächst, haben wir vorher gesehen; dies ist jedoch nur bis zu einer gewissen Grenze der Fall. Mit der Länge des Balkens nimmt zwar das Moment des Uebergewichtes zu — denn hielte die Länge eines Wagearmes einer Wage 100 Theile, die einer anderen deren 99, so würde das Moment von 1 Gran bei jener Wage gleich dem Momente von 100 Gran in der Entfernung von 1 Theile sein, bei dieser aber nur gleich dem Momente von 99 Gran —; aber auch das Gewicht des Balkens und die Reibung nimmt zu. Eine Reibung zwischen der Welle und der Pfanne ist nämlich unvermeidlich und daher ist der Ausschlagwinkel stets kleiner, als ihn die Rechnung ergiebt. Ist r der Abstand der Schneide des Zapfens, die auf der Pfanne ruht, vom Drehungsmittelpunkte, f der Reibungscoefficient, q das Gewicht, welches auf einer Wagschale der Reibung das Gleichgewicht hält, so ist

$$f(P + Q + q)r = aq, \text{ folglich:}$$

$$q = (P + Q) \frac{rf}{a - rf}$$

In den meisten Fällen ist $f = 0,1$, oft noch geringer.

Am Wagebalken befinden sich der Stift für die Drehungsaxe (die Welle), die Aufhängepunkte der Schalen und die Zunge. Die Welle wird stets aus Stahl gemacht und sehr gut gehärtet. Man läßt sie nach unten in eine sehr scharfe — höchstens 60 Grad im Winkel haltende — Schneide auslaufen, die genau auf der Ebene des Balkens senkrecht steht. Die Pfannen, in denen sie sich bewegt, macht man eben oder etwas hohl, aus hartem Stahl oder noch besser aus einem harten Steine, z. B. aus Achat. Die Aufhängepunkte der Schalen sind gewöhnlich mit eigenen, nach oben scharf zulaufenden Stiften bezeichnet, an welche die Schalen mittelst krummer Haken gehängt werden, so daß sie dem Zuge der Schwere folgen können. Die Zunge soll auf dem Balken senkrecht stehen und durch die Linie, welche den Schwerpunkt mit der Axe verbindet, genau in zwei symmetrische Hälften getheilt werden. Meistens ist sie nach aufwärts gerichtet, und dann spielt sie zwischen einer Kugel, die stets von selbst vertical hängt und oft eine kleine verticale Gegenzunge hat, deren Uebereinstimmung mit der des Balkens auf die horizontale Lage des letzteren schließen läßt. Ist die Zunge abwärts gekehrt, so spielt sie über einem Bogen, der an dem Träger der Wage — wie obige Wage Nr. 1. zeigt — angebracht ist. Der Träger muß aber in diesem Falle mit einer Libelle oder einem Senkblei in die gehörige Lage gebracht werden können, weshalb der Träger auf einem Fuße mit Stellschrauben anzubringen ist. Es mag aber die Zunge abwärts oder aufwärts gekehrt sein, so ist an der ihr gegenüber stehenden Seite des Balkens ein Gegengewicht angebracht, um dem Schwerpunkte des Ganzen die gehörige Lage zu geben; oft ist dieses Gegengewicht zum Verschrauben eingerichtet — wie obige beide Abbildungen zeigen —, und kann dem Balken genähert oder von ihm entfernt werden, damit man so die Empfindlichkeit der Wage nach Belieben reguliren kann. Letzteres zu erreichen, hat man auch wohl die ganze Welle in einem Schlitten mittelst einer Schraube auf- und abbewegbar gemacht, eine Einrichtung, wie sie im Artikel

Mikroskop, Bd. IV. S. 1082 bei dem Schraubenmikrometer näher angegeben ist. Es giebt auch Wagen, an denen ein Arm des Balkens die Stelle der Zunge vertritt und dann mit seinem in eine Spitze ausgehenden Ende neben einem Kreisbogen spielt. Sehr genaue Wagen werden meistens mit mehreren Schraubenvorrichtungen versehen, durch welche man den Balken gleichförmig machen und den Schwerpunkt jedes Armes, ebenso die Aufhängepunkte der Schalen, in gleiche Entfernung von der Schneide der Welle bringen kann, wie an den obigen Zeichnungen zu sehen ist.

Daß die Schalen ein gleiches Gewicht haben, ganz frei am Balken hängen, sich auch leicht wegnehmen und verwechseln lassen müssen, ist bereits bemerkt. Man hängt sie mittelst Schnüren, Ketten oder dicken Drähten auf. Letztere verdienen vor allen den Vorzug, weil man ihnen leicht ein bestimmtes Gewicht geben und sie dabei erhalten kann. Ketten sind zu mühsam zu verfertigen und zu schwer zu putzen; Schnüre nehmen gar zu leicht Staub auf und können nur mit großer Mühe davon befreit werden; einige wirken auch hygroskopisch und ändern durch das aus der Luft aufgenommene Wasser ihr Gewicht. Die Schalen selbst macht man am besten flach, mit aufgebogenem Rande. Tiefe Schalen gestatten manchem abzuwiegenden Körper keinen sicheren Stand, und werden deshalb bei genauen Wagen selten gebraucht.

Eine empfindliche Wage soll stets so eingerichtet sein, daß der Balken von den Pfannen abgehoben und auf dieselben wieder herabgelassen werden kann, so daß er abgehoben auf besonderen Trägern ruht und erst beim Herablassen auf die Pfannen wieder frei beweglich wird. Unsere Abbildungen zeigen die hierzu erforderliche Einrichtung. Ist die Wage außer Gebrauch, so ruht der Wagebalken auf dem Träger *mn* (Fig. I. S. 774), welcher vermittelt einer excentrischen Scheibe *pq*, deren Griff bei *s* zu sehen ist, und eines in der hohlen Säule *AB* befindlichen Stabes auf und nieder geschoben werden kann, und somit im ersten Falle die Stahlschneide *s* von der Achatplatte *a* abhebt und den ganzen Wagebalken arretirt. So lange die Wage außer Dienst ist, soll sie arretirt sein; außerdem ist es zweckmäßig, dieselbe in einen Glaskasten einzuschließen, der sich an der Vorderseite der Wage öffnen läßt. Kein Instrument wird nämlich durch Staub, Rauch oder Dünste so leicht unbrauchbar gemacht, als eine Wage, keines fordert daher eine so sorgfältige Aufbewahrung; ein Glaskasten schützt dieselbe nun nicht bloß vor Verunreinigung, sondern hält auch beim Gebrauche den Luftzug ab und erleichtert und verkürzt dadurch die Arbeit.

Die Gewichte, welche zur Wage gehören, werden in der Regel aus Metall gemacht und zwar aus Messing, Silber oder Platin. Letzteres würde sich wegen seiner Unveränderlichkeit in der Luft, im Wasser und selbst in den meisten Säuren am meisten empfehlen, wenn bei größeren Stücken nicht der hohe Preis, bei gar kleinen das große specifische Gewicht dieses Metalles die Wahl eines anderen Stoffes rathlich machte. Indessen sind doch Platingewichte von 1 Milligramme noch recht gut wahrzunehmen und sogar noch leicht anzufassen, wenn sie dünn genug ausgearbeitet sind. Die Gestalt solcher Gewichte ist verschieden. Größere Stücke werden häufig in die Form hohler, abgestumpfter Regel gebracht, deren einer in den anderen paßt; kleinere macht man cylindrisch oder würfelförmig, und die kleinsten, von 10 Gran oder 1 Gramme angefangen, bekommen meistens die Blechform. Sie sollen sich gut anfassen lassen und keine Vertiefungen haben, die

leicht Unreinigkeit aufnehmen; darum sollen auch die Zahlen, welche den Werth jedes Stückes bezeichnen, nicht zu tief eingeschlagen sein. Gewichte, welche hohle Regel vorstellten und in einander paßten, empfehlen sich durch ihr geringes Volumen; doch hält es stets schwer, sie rein zu erhalten. Es ist zwar wünschenswerth, daß man einen hinlänglichen Vorrath genauer Gewichte habe; man kann aber auch mit wenigen Stückchen weit reichen. Mit 4 Stückchen von dem Werthe 1, 2, 3 und 4 reicht man bis 10; kommen dazu noch 8 Stückchen von den Werthen 10, 20, 30, 40, 100, 200, 300 und 400, so kann man damit alle Gewichte von 1 bis 1000 bestimmen. Ist es erforderlich von dem kleinsten zu Gebote stehenden Gewichte noch Unterabtheilungen zu haben, so kann man sich solche aus Draht anfertigen, indem man ein Drahtstück, welches jenem Gewichte an Gewicht gleich kommt, in 10 oder mehrere gleich lange Stückchen zerschneidet. Bei feinen Wagen ist jedoch meistens der Abstand der Wellenscheide von einem Aufhängepunkte der Wagtschalen, wie auch unsere Fig. I. S. 774 zeigt, in 10 gleiche Theile getheilt, und ein kleines Gewicht, z. B. 1 Milligramm, giebt dann, nach dem Gesetze vom ungleicharmigen Hebel, an dem 1, 2, 3 . . . Theilstriche aufgehangen denselben Ausschlag, wie 1, 2, 3 . . . Zehntelmilligramme in der Schale. — Alle Gewichtsstücke einer feinen Wage sollen in Kästchen eingeschlossen sein, und beim Gebrauche soll man sie nicht unmittelbar mit den Fingern, sondern mit einem Zängelchen anfassen. — Ueber die relative Größe der Gewichte verschiedener Länder vergl. Art. Gewicht, Bd. III. S. 542, desgl. Art. Maß, Bd. IV. S. 891, namentlich S. 901 ff.

Bevor eine Wage zu einer genauen Untersuchung gebraucht wird, muß man von ihrer Richtigkeit und Empfindlichkeit überzeugt sein. Welchen Proben eine Wage in dieser Beziehung zu unterwerfen ist, haben wir bereits oben erwähnt. Selbst der besten Wage darf man jedoch kein unbegrenztes Zutrauen schenken, und muß in Fällen, in denen es sich um sehr genaue Resultate handelt, beim Abwägen ein Verfahren beobachten, bei welchem man die etwaigen Fehler im Bau des Wagebalkens und die Reibung unschädlich macht. Nach Borda legt man dann den abzuwägenden Körper A in die eine Schale und so viel Tara (Schrotkörner oder dergleichen) in die andere, bis Gleichgewicht hergestellt ist. Dann ersetzt man A durch Gewichte P, und es wäre $P = A$, wenn keine Reibung stattfände. Um auch diesen Einfluß zu beseitigen, sucht man denselben bei beiden Abwägungen gleich zu machen, und verfährt deshalb so, daß man, wenn A mit der Tara im Gleichgewichte sich befindet, den Balken unterstützt, A wegnimmt und mit nahe gleichem Gewichte ersetzt, darauf aber erst den Balken freiläßt. Ist die Wage sonst richtig und probenmäßig, haben aber die Wagearme ungleiche Länge, so kann man auf folgende Weise verfahren, um das richtige Gewicht des abzuwägenden Körpers A zu erhalten. Man lege A in eine Wagtschale und so viel Gewichte in die andere, als nöthig ist, um den Balken in horizontaler Lage ins Gleichgewicht zu bringen. Es sei P dieses Gewicht und x das wahre Gewicht des abzuwägenden Körpers; hat nun der Wagearm für P die Länge a, der andere die Länge b, so ist

$$P : x = b : a \text{ oder } x = P \cdot \frac{a}{b}.$$

Hierauf unterstütze man den Balken, vertausche den Körper A mit dem Gewichte P, lasse die Wage dann wieder frei und ändere, was bei ungleichlangen

Armen oder eigentlich Entfernungen der Aufhängepunkte der Wagschalen von der Schneide der Welle nöthig sein wird, P so lange, bis auch unter diesen Umständen der Balken in horizontaler Lage in Ruhe kommt. Ist nun P in Q übergegangen, so hat man jetzt

$$Q : x = a : b \text{ oder } x = Q \cdot \frac{b}{a}.$$

Beide Werthe von x geben $x^2 = PQ$, also $x = \sqrt{P \cdot Q}$.

Wäre nur vorausgesetzt, daß die Wagschalen in ungleicher Entfernung aufgehängt wären, und hätte sich bei beiden Abwägungen das Gewicht P ergeben, so wäre dies ein Beweis dafür gewesen, daß die Schalen in gleichen Abständen von der Welle hängen. Ergeben sich zwei verschiedene Gewichte P und Q , so ist die Summe derselben stets größer als das Doppelte des wahren Gewichtes x , so daß man, um letzteres zu finden, nicht das arithmetische Mittel aus den beiden gefundenen Gewichten nehmen darf. Es ist nämlich

$$P = x \frac{b}{a} \text{ und } Q = x \cdot \frac{a}{b}, \text{ also}$$

$$P + Q = \frac{a^2 + b^2}{ab} x \text{ und}$$

$$\frac{P + Q}{2x} = \frac{a^2 + b^2}{2ab}.$$

Ist nun $b = a + d$, so ist:

$$\frac{P + Q}{2x} = 1 + \frac{d^2}{2a^2 + 2ad}.$$

Feste Körper werden meistens unmittelbar in die Wagschale gelegt, falls sie sich nicht an dieselbe anhängen; thun sie dies, so legt man sie zuerst auf eine Unterlage, der sie nicht adhären und wiegt sie mit dieser ab, zieht aber nachher das Gewicht dieser Unterlage vom Gesamtgewichte ab. Gepulverte Körper sollen nie die Wagschale berühren, weil es immer schwer hält, dieselbe nach dem Abwägen ganz davon zu befreien, woraus für die Wage ein Nachtheil hervorgeht und auch die Frucht des Abwägens verloren ist, indem man stets einen Theil des Pulvers verliert. Darum wiegt man solche Körper in Uhrgläsern oder auf Glaspapier ab. — Daß tropfbar-flüssige Körper in eigenen Gefäßen abgewogen werden müssen, versteht sich von selbst. Um kleine Portionen derselben zu geben oder wegnehmen zu können, wendet man Glasstäbe an, falls ihnen die Flüssigkeit adhärirt, die man mit einem Ende in die flüssige Masse eintaucht und den daran hängenden Tropfen zuzieht oder weg nimmt, je nachdem es der Zweck erfordert. Für solche Flüssigkeiten, die sich nicht an das Glas anhängen, wie Quecksilber, bedient man sich eines gläsernen Haarröhrchens, das eine kleine flüssige Säule aufnimmt und das Uebertragen derselben gestattet, besonders wenn man es am anderen Ende mit einem Finger schließt. In beiden Fällen leisten Pipetten sehr gute Dienste, da man mit ihnen bequem zufüllen und auch wegnehmen kann.

Bei jedem abzuwägenden Körper muß man wohl bedenken, ob sich während des Abwägens sein Gewicht nicht ändert, und wenn dies der Fall ist, dieser Aenderung vorbeugen.

Flüchtige Körper, z. B. Aether, werden in wohlverschlossenen Gefäßen abgewogen; solche, die leicht Wasser aus der Luft anziehen und die man nach dem Abwägen nicht mehr braucht, giebt man in eine abgewogene Portion Wasser und wiegt sie mit dieser. — Am schwersten ist es, das Gewicht eines heißen Körpers genau zu bestimmen, weil dieser auf den Wagebalken erwärmend wirkt und so der Richtigkeit der Wage Abbruch thut. Darum darf man sich auf Resultate, die aus solchen Abwägungen geschöpft sind, nicht verlassen.

Zu hydrostatischen Abwägungen (s. Art. Gewicht, Bd. III. S. 548) bedient man sich der oben unter Nr. II. S. 774 abgebildeten hydrostatischen Wage. Dieselbe ist eine empfindliche Wage gewöhnlicher Art, nur daß die eine Wagschale kürzer als die andere und an der unteren Fläche mit einem Häkchen versehen ist.

Baumgartner, dem wir in diesem Artikel im Wesentlichen gefolgt sind, giebt in dem Supplementbände zu seiner Naturlehre (Wien 1831) S. 58 die Beschreibung zweier vortrefflicher Wagen des physikalischen Cabinets der Wiener Universität. Wir lassen die Beschreibung der einen Wage folgen.

Der Wagebalken besteht aus zwei hohlen, messingenen, abgestumpften, an ihren Basen mit einander verbundenen Kegeln, ist 26 Zoll lang, hat in der Mitte 25 L., an jedem Ende $5\frac{1}{4}$ L. im Durchmesser und wiegt 22 Loth. Die Are, um die er sich dreht, sowohl als die zwei Zapfen, welche zur Aufhängung der Schalen bestimmt sind, bestehen aus glashartem Stahl und laufen in ungemein scharfe Schneiden aus. Die Stelle der Zunge vertritt ein Arm des Balkens. Dieser ist deshalb am äußeren Ende mit einem feinen conischen Stift versehen und spielt neben einem Gradbogen, den ein horizontaler Arm des Postamentes trägt. Um den Schwerpunkt des Balkens ohne sonstige Verrückung heben und senken zu können, ist unterhalb seiner Are ein Gewicht angebracht, das an einer vollkommen geraden Schraube steckt und sich an derselben heben und senken läßt. Die Zapfen zur Aufnahme der Schalen sind an den Balken mittelst Schraubenvorrichtungen befestigt und lassen sich mittelst dieser Schrauben in die nöthige Lage bringen. An der Seite, wo sich der Gradbogen befindet, ist der Stift nur zum Heben und Senken eingerichtet, kann aber der Drehungsare weder genähert noch von ihr entfernt werden. Durch diese Einrichtung kann man es dahin bringen, daß die gerade Linie, welche die Aufhängepunkte der Schalen verbindet, genau auf jener senkrecht steht, welche durch die Drehungsare und den Schwerpunkt des Balkens geht. Am entgegengesetzten Ende des Balkens ist der Stift für die Schale so eingerichtet, daß er der Drehungsare genähert und von ihr entfernt werden kann, ohne sich zu heben oder zu senken. Dieses ist dadurch bewerkstelligt, daß die mittlere der drei Schrauben, durch welche eine mit dem Tragstift verbundene Platte an den Hebelarm befestigt ist, am unteren Ende ein excentrisches Zapfchen hat. Wird diese Schraube gedreht, so beschreibt dieses Zapfchen einen kleinen Kreis um die Are der Schraube und schiebt dadurch die mit dem Stifte verbundene Platte und hiermit den Stift selbst auswärts oder einwärts. Mittels dieser Vorrichtung läßt sich den beiden Armen des Balkens eine vollkommen gleiche Länge ertheilen. Um nun auch die Momente der beiden belasteten Arme von gleicher Größe zu erhalten, ohne die eigentliche Länge derselben zu ändern, hat der Balken an dem Ende, wo die zuletzt besprochene Vorrichtung angebracht ist, eine cylindrische Verlängerung, in welche eine Schraube eingeschnitten ist, an der ein kleines Ge-

wichtigen steht, das sich ebenfalls von der Axc entfernen und ihr nähern läßt. Die Schalen werden nicht unmittelbar an die conischen Stifte gehängt, sondern zuerst in Stahlringe, die mit eigenen stählernen Haken an den Balken angehängt werden. Der ganze Wagebalken ruht auf einem festen Postamente, welches man mittelst zweier Wasserragen, die am Fußgestell angebracht sind, in einen verticalen Stand bringt. Mittels einer eigenen Vorrichtung läßt sich eine im Postamente enthaltene gezähnte Stange, die oben in zwei Tragarme ausgeht, heben und senken; beim Heben fassen die Arme den Balken zu beiden Seiten der Axc und unterstützen ihn, beim Senken lassen sie ihn wieder frei. — Diese Wage trägt ohne Schaden für den Balken auf jeder Schale 3 Pfund, und ist für $\frac{1}{1200000}$ dieser ganzen Belastung (Last und Gewicht) empfindlich.

Eine gute Wage muß wenigstens $\frac{1}{80000}$ ihrer stärksten Belastung angeben. Eine Wage des Wiener Cabinetes trägt auf jeder Schale höchstens 1 Pfund und ist für $\frac{1}{800000}$ empfindlich, giebt also bei einem Uebergewichte von $\frac{32}{100000}$ Quentchen noch einen merklichen Ausschlag. Ramsden's berühmte Wage gab bei voller Belastung von 10 Pfund noch einen Ausschlag bei 0,0064 Gran Uebergewicht, zeigte also noch den 12millionsten Theil der Belastung an. Fortin's Wagen hatten bei 4 Pfd. Belastung eine Empfindlichkeit von $\frac{1}{1336000}$, zeigten also noch $\frac{1}{50}$ Gran Uebergewicht an. Die Wagen von Florenz in Wien geben bei einer Belastung von $4\frac{1}{2}$ Pfd. noch mit $\frac{1}{8}$ Nichtpfennig, also mit $\frac{1}{471359}$ einen sehr deutlichen Ausschlag. Die gewöhnlichen Probirwagen sollen bei 1 Pfd. auf jeder Schale noch für 0,02 Gran, also für $\frac{1}{768000}$ der Belastung empfindlich sein. Wagen, auf denen man Lasten wiegt, welche über 1 Gr. betragen, sollen mindestens für 1 Loth Uebergewicht empfindlich sein.

Wenn man sich beim Abwägen eines Körpers auch der genauesten Wage bedient, die beste Abwägungsmethode anwendet und in der Manipulation durchaus richtig verfährt, so erhält man doch das absolute Gewicht des abzuwägenden Körpers nicht genau; denn dazu wäre erforderlich, daß die Abwägung im leeren Raume vor sich ginge. Um nun das in der Luft erhaltene Resultat auf den leeren Raum zu reduciren *), sei P das gesuchte absolute Gewicht des Körpers, und S sein specifisches Gewicht bei der Temperatur von 0° C. Sein Volumen wird demnach $\frac{P}{S}$ sein. Dehnt sich der Körper von 0° C. bis zur herrschenden Temperatur t linear in dem Verhältnisse 1 : c aus; so ist sein Volumen bei t° C. gleich $\frac{P c^3}{S}$ und er verdrängt unter diesen Umständen die Luftmasse $\frac{P c^3 s}{S}$, wenn s das specifische Gewicht der Luft bezeichnet. Demnach zieht er am Wagebalken mit der Kraft $P \left(1 - \frac{c^3 s}{S}\right)$ herab. Bezeichnen nun die Buchstaben $P_1 c_1 S_1$ dasselbe für die Gewichte, was P c S für den abzuwägenden Körper bezeichnet haben, so zieht das Gewicht am anderen Arme des Wagebalkens mit der Kraft $P_1 \left(1 - \frac{c_1^3 s}{S_1}\right)$

*) Vergl. Art. Gewicht, Bd. III. S. 543 ff.

und wenn der Körper mit dem Gewichte im Gleichgewichte steht, hat man

$$P \left(1 - \frac{c^3 s}{S}\right) = P_1 \left(1 - \frac{c_1^3 s}{S_1}\right) \text{ und hieraus}$$

$$P = \frac{P_1 \left(1 - \frac{c_1^3 s}{S_1}\right)}{1 - \frac{c^3 s}{S}}. \text{ — Die Größe } s \text{ ist gegeben durch die Gleichung}$$

$$s = \frac{so \text{ b}^{mm}}{0,76 (1 + 0,00365 \text{ t})} = \frac{1, \text{ Var. Lin.}}{259581 (1 + 0,00365 \text{ t})}, \text{ wo } h \text{ den Barometerstand, } so \text{ das specifische Gewicht der Luft bei } 0^\circ \text{ bezeichnet, oder wenn man}$$

$$\frac{1}{259581 (1 + 0,00365 \cdot t)} = a \text{ setzt,}$$

$$s = a h.$$

Während es eigentlich nur eine gleicharmige Wage geben kann, da aus dem Gleichgewichte bei dem mathematischen Hebel, d. h. wenn $K \cdot Ek = P \cdot Ep$ ist, folgt, daß nur in dem einen Falle $P = K$ ist, wenn $Ek = Ep$ wird; ergibt sich ebenso aus $P = K \cdot \frac{Ek}{Ep}$ eine unbegrenzte Anzahl von ungleicharmigen

Wagen, indem $\frac{Ek}{Ep}$ eine unbegrenzte Anzahl von Werthen haben kann. Eine

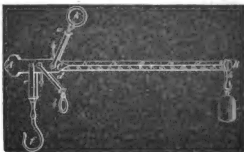
bloße Verschiedenheit des Werthes $\frac{Ek}{Ep}$ würde jedoch noch keine Verschieden-

heit in der Construction bedingen; faßt man diese ins Auge, so ergeben sich eigentlich nur zwei Arten ungleicharmiger Wagen, nämlich erstens solche, bei denen der eine Aufhängepunkt und der Drehpunkt unveränderlich sind, der andere Aufhängepunkt aber verschiebbar ist, und zweitens solche, bei denen beide Aufhängepunkte eine unveränderliche Lage haben, der Drehpunkt aber verschoben werden kann.

Um uns auch hier dem mathematischen Hebel zu nähern, nehmen wir einen physischen Hebel, welcher unbelastet in horizontaler Lage in Ruhe steht; denken wir uns dann den abzuwägenden Körper an einer bestimmten Stelle von dem Drehpunkte aufgehängt, so werden wir demselben durch ein an dem anderen Hebelarme verschiebbares Gewicht das Gleichgewicht halten können, und dann aus der bekannten Größe dieses Gewichtes und aus den Entfernungen einerseits desselben Gewichtes und andererseits des zu wägenden Körpers das Gewicht des letzteren zu berechnen im Stande sein.

Die hier im Principe beschriebene Wage ist die römische oder romanische oder rommanische (?) (von dem arabischen Romman, d. h. Granatapfel) Schnellwage. Umstehende Figur stellt eine solche Wage vor. AB ist der Balken; a ist die Schere mit dem Ringe k, an welchem die Wage aufgehängt wird und innerhalb welcher die Zunge spielt. An den Haken l wird dann der zu

wägende Körper gehangen, und h ist das auf dem längeren Hebelarme verschiebbare Gewicht. Der Umdrehungspunkt der Wage liegt bei dieser Aufhängung in C . Damit jedoch die Wage auch noch für gewichtigere Körper brauchbar sei, ist noch



eine zweite Sphäre d mit dem Ringe h angebracht. Hängt man die Wage an diesem auf, und wendet den Haken, der mit seiner Gabel über A weggeht, um, so findet offenbar zwischen beiden Armen des Hebels ein noch größerer Unterschied statt und das Gewicht h hält nun bei geringeren Abständen vom Drehungspunkte größeren Lasten das Gleichgewicht. Der längere Hebelarm ist so vierkantig geformt, daß bei jeder Aufhängung eine scharfe Kante nach oben steht, auf welcher das Gewicht, der sogenannte Läufer, mit seiner Fassung fortgeschoben wird. Die Figur giebt die Eintheilung für jede Aufhängung an, an welcher man das Gewicht abliest. Steht die Wage unbelastet horizontal, so braucht man der Theorie nach, um jene Eintheilung herzustellen, die Länge des kürzeren Hebelarmes auf dem längeren vom Drehungspunkte ab nur so oft aufzutragen als möglich ist. Wenn die unbelastete Wage nicht horizontal steht, so werden die Abstände auf empirischem Wege ermittelt, entweder durch Vergleich mit einer guten gleicharmigen Wage, oder indem man bekannte Gewichte anhängt und dann die zugehörige Stelle des Läufers bestimmt. Man könnte auch verschiedene Läufer bei demselben Wagebalken verwenden, um kleinere oder größere Lasten zu wiegen, z. B. einen Läufer von 1 Pfund, welcher bis zu Lasten von 10 Pfund ausreicht, und einen Läufer von 10 Pfund, mit welchem man bis zu 100 Pfund auf demselben Balken wiegen könnte.

Eine solche Schnellwage, welche unbelastet horizontal steht, nennt man auch eine mathematische Schnellwage, im Gegensatz zu der unbelastet nicht horizontal stehenden, welche eine physikalische Schnellwage heißt.

Man braucht solche Wagen stellenweis, um ganz bedeutende Lasten, z. B. ganze, beladene Wagen, zu wiegen. Um den Wagebalken dann nicht zu lang machen zu müssen, hängt man an das Ende desselben ein Gewicht, welches der abzuwägenden Last beinahe das Gleichgewicht hält und dessen Moment man in Gewichtseinheiten kennt; mittelst des Läufers stellt man hierauf das Gleichgewicht vollständig her.

Auch bedient man sich für größere Lasten folgender Einrichtung. An dem einarmigen Hebel ABC (s. umstehende Figur), dessen Drehpunkt in A ist, hängt

bei B die Last L ; das Ende C desselben steht in Verbindung mit dem kürzeren Arme eines zweiarmligen Hebels DEF durch CD; der Drehpunkt dieses Hebels ist bei E und an dem Ende F desselben ist eine Schale aufgehängt zur Aufnahme der

Gewichte P ; die Drehpunkte A und E werden durch GA und HE gehalten. Abgesehen von dem Gewichte der Hebel und der Reibung würde theoretisch

$$L = \frac{x \cdot AC}{AB} \text{ sein, wenn}$$

bei C eine Kraft x nöthig wäre, um der Last L an dem einarmigen Hebel das Gleichgewicht zu halten; dieselbe Kraft x wirkt bei D und aus dem Gleichgewichte des zweiarmligen Hebels würde

$$x = \frac{P \cdot EF}{DE} \text{ folgen; also}$$

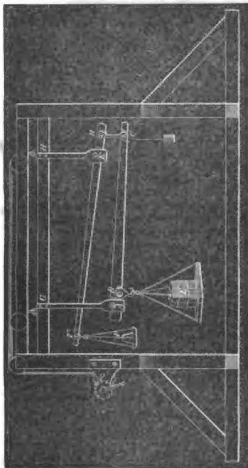
wäre

$$L = P \cdot \frac{AC \cdot EF}{AB \cdot DE}.$$

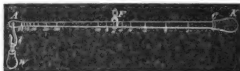
Würde $AC = 10 \cdot AB$ und $EF = 10 \cdot DE$ sein, so wäre P hundert Mal kleiner als L . Mittelfst eines Läufers auf EF neben den Gewichten P kann man sich das Bestimmen der Unterabtheilungen noch wesentlich erleichtern. Diese Wage führt den Namen der schwedischen Schiffs-*wage*. Er scheint der Vortheil, welchen solche Wagen bieten, nämlich mit kleinen Gewichten

verhältnismäßig große Lasten wiegen zu können, höchst beachtendwerth, so ist doch andererseits nicht zu übersehen, daß bei ungenauerm Wiegen auch der Irrthum im Gewichte in demselben Verhältnisse vergrößert wird.

Die andere Art der Schnellwagen mit verschiebbarem Drehpunkte ist in der sogenannten schwedischen oder dänischen Wage, wohl auch Desormer



genannt, zur Ausführung gekommen. Beigefügte Figur stellt eine solche Wage vor. Bei F ist ein Doppelring, an dessen oberen Theile die ganze Wage aufgehängt wird, während dieselbe in dem unteren verschiebbar ist; die kugel-, birn- oder



walzenförmige Verdickung K bei C vertritt die Stelle des Gewichtes; an dem Haken h bei A wird der abzuwägende Körper aufgehängt. Die Einteilung ermittelt man am leichtesten empirisch, indem man 1, 2, 3 . . . Pfundgewichte bei h anhängt und die Stelle des Ringes F bestimmt, bei welcher in jedem einzelnen Falle der Balken horizontal schwebt. Man sieht leicht ein, daß bei dieser Wage die Abstände der einzelnen Theilstriche nicht gleich sein können; auch daß die Wage nicht für große Lasten brauchbar ist, indem dann das Verschieben des Balkens übermäßig erschwert wird.

In Betreff der Theorie dieser Wage sei nur Folgendes bemerkt. Die Stelle des Schwerpunktes des Balkens sammt K und dem Haken h werde mit O bezeichnet und das Gewicht der Wage sei G, so ist dieser Punkt O der Nullpunkt. Ist die Entfernung dieses Punktes von dem Aufhängepunkte des Hakens = a und steht der Ring bei einem an h hängenden Gewichte W von dem Punkte O in einem Abstände = x, so muß sein:

$$W : G = x : a - x \text{ oder}$$

$$W + G : W = a : x, \text{ also}$$

$$x = \frac{aW}{W + G}.$$

Ebenso würde für ein anderes Gewicht W_1 sein:

$$x_1 = \frac{aW_1}{W_1 + G},$$

$$\text{folglich } x_1 - x = \frac{aW_1}{W_1 + G} - \frac{aW}{W + G} = a \frac{(W_1 - W)G}{(W + G)(W_1 + G)};$$

setzen wir nun $G = np$ und $W = mp$ und $W_1 = (m + 1)p$, wo p die Gewichtseinheit, z. B. Pfund bedeutet, nach welcher die Einteilung des Balkens geschehen soll, so ist:

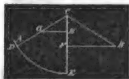
$$x_1 - x = \frac{an}{(m + n)(m + n + 1)},$$

d. h. da der Zähler an constant bleibt, während wegen m der Nenner veränderlich wird und bei zunehmendem Gewichte W wächst, so wird der Abstand der Theilstriche für gleiche Gewichtszunahmen immer kleiner.

Es kommen Fälle vor, in denen man die successiven Aenderungen im Gewichte eines Körpers erfahren will, der sich in einem geschlossenen Raume befindet, und nicht wohl vor Beendigung des Versuches herausgenommen werden kann; wir

3. V. wenn es sich um das Fortschreiten der Verdunstung einer Flüssigkeit im geschlossenen Raume handelt. Da kann man mit einer gewöhnlichen Wage nicht zum erwünschten Ziele gelangen, weil bei dieser die Größe einer Gewichtsänderung am Körper, der sich an ihr im Gleichgewichte befindet, nur durch wirkliches Hinzugeben oder Wegnehmen der Gewichte bestimmen läßt. Man bedient sich deshalb in einem solchen Falle einer Zeigerwage. Bei dieser giebt der Balken, wovon ein Arm über einem Gradbogen spielt, durch den Winkel, den er mit der fixen Linie macht, das Gewicht eines Körpers an. Zur nähern Kenntniß solcher Wagen führt folgende Betrachtung: Es sei ACB (Fig. I.) ein Winkelhebel, dessen Schwerpunkt nach G fällt, der sich um eine horizontale, durch C gehende Axe dreht und dessen Arm AC über einem aus C beschriebenen Kreisbogen DE spielt. In B ist eine Wagschale angehängt, auf welcher der abzuwägende Körper zu liegen kommt. So lange der Balken nicht belastet ist, liegt AC in der Vertikalen CE, so wie aber auf die Wagschale eine Last wirkt, kommt dieser Arm dahin, daß er mit der

I.



Vertikalen den Winkel ACE macht, der sich an der Gradtheilung des Bogens DE ablesen läßt *). Fig. II. stellt eine Zeigerwage vor, wie sie im unbelasteten Stande sich zeigt. Sie ist mit einem verschiebbaren Gewichte am Zeigerarme versehen, so daß man sie für leichtere und schwerere Lasten brauchen kann, in derselben Art, in der man bei Schnellwagen die Geltung des Gewichtes durch Veränderung des Abstandes vermehrt. Der Kreisbogen hat 12 Zoll im Halbmesser, und der Zeiger giebt das Gewicht der auf die Wagschale gelegten Körper von 22 Gr. bis 1 Milligramm an.

II.



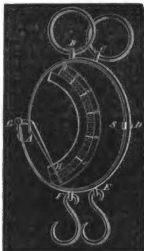
Vergleichen Zeigerwagen empfehlen sich auch in anderen Fällen als besonders praktisch, z. B. als Briefwagen auf Postämtern. Zur Aufnahme des Briefes wird ein zweiarmiger Haken statt der Schale angebracht, in welchen der zu wiegende Brief gesteckt wird; die Eintheilung ist nach der Progression des Vortossages bemessen und der Zeiger zeigt dann unmittelbar an, welche Tare anzulegen ist. Ebenso bedient man sich vergleichenden Zeigerwagen in Papierfabriken, um aus dem Gewichte eines Probebogen gleich das Gewicht von einem Riese zu finden. Die Scala ist dann

*) Es sei ACB = α , ACE = φ , BCE = φ_1 , mithin $\alpha = \varphi + \varphi_1$. — Man ziehe die Horizontalen BF und GH, nenne CB = A, CG = B, die Last P und das Gewicht des ganzen Balkens Q, und man hat für den Fall des Gleichgewichtes Q. GH = P. BF oder $QB \sin \varphi = PA \sin \varphi'$, das ist $QB \sin \varphi = PA (\sin \alpha \cos \varphi - \sin \varphi \cos \alpha)$ und $\tan \varphi = \frac{PA \sin \alpha}{QB + PA \cos \alpha}$. Man kann die Theilung am Bogen DE gleich nach dieser Formel einrichten, damit der Hebelarm AC das aufgelegte Gewicht unmittelbar angebe. Auch ist es klar, daß man für denselben Bogen Hebel von verschiedenem Gewicht anbringen, und daher größere und kleinere Lasten abwägen kann. —

für Schreibpapier von 480 Bogen à Nieß, und außerdem für Druckpapier von 500 Bogen à Nieß ausgeführt *).

Zu den Schnellwagen gehören auch die Federwagen, deren Princip aus Artikel Kraftmesser Bd. IV. S. 341 am deutlichsten sich ergeben wird. Zu gehören diese Wagen zu den unvollkommeneren, da die Elasticität des Stahles, den man gewöhnlich dazu verwendet, nicht unveränderlich ist und überdies kleine Gewichtsunterschiede nicht gehörig angezeigt werden; man kann sie daher nur verwenden, wo es auf Schnelligkeit, aber nicht auf Genauigkeit ankommt. Aus diesen Gründen beschränken wir uns hier auf die sogenannte Heuwage.

Beigefügte Zeichnung giebt ein Bild der Heuwage in der Seitenansicht.



ABCDEFGH ist die ovale, an den Enden bei A und G offene Stahlfeder; bei B ist eine Platte S befestigt, auf welcher die Scala verzeichnet ist, wobei nur die Bemerkung nöthig sein dürfte, daß diese Platte außer an dem einen Punkte B sonst nirgends mit der Feder in Verbindung steht; bei G ist der bei H gabelförmige, die Platte S zwischen sich nehmende Zeiger GH scharnierartig befestigt und geht derselbe durch einen Schlitz in dem Ende A; bei B und C sind Ringe um die Wage, und bei F und E Haken um die abzuwägende Last aufzuhängen. Die Scala wird am besten auf empirischem Wege bestimmt, indem man bekannte Gewichte an den Haken E und F aufhängt und dann den zugehörigen Stand des Zeigers markirt. Hängt man die Wage bei B auf und die Last bei F, so werden die Enden A und G von einander entfernt; hierbei wird der in dem Schlitz bei A aufliegende Zeiger gehoben und zwar umso mehr, je stärker die Last in F zieht; die Stellung des Zeigers giebt an der Scala das Gewicht

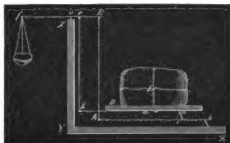
der Last. Ein Gleiches findet statt, wenn man die Wage bei C und die Last an E aufhängt; es ist jedoch klar, daß, da B und F den Enden der Stahlfeder näher liegen, als dies mit C und E der Fall ist, bei einer Aufhängung der Wage in B und Anhängung der Last in F die Feder stärker auseinander gezogen werden muß, als wenn dasselbe bei C und E geschieht. Deshalb bringt man an der Scalentafel gewöhnlich zwei Scalen an, von denen die eine auf der einen Seite der Platte für leichtere, etwa bis 30 Pfund wiegende Lasten, die in F angehängt werden, die andere auf der anderen Seite für schwerere, bis 120 Pfund und darüber gehende, in E anzubringende Lasten bestimmt ist.

Von zusammengesetzten Hebelwagen, zu denen eigentlich die bereits oben genannte schwedische Schiffswage auch gehört, giebt es eine große

*) Ueber Briefwagen vergl. polytechnisches Centralblatt, Jahrg. 1841. S. 1.

Zahl. Wir müssen uns jedoch hier darauf beschränken, eine dieser zu mancherlei Zwecken des Verkehrs erdachten Vorrichtungen zu beschreiben, und wählen dazu die jetzt so weit verbreitete sogenannte Straßburger Brückenwage, welche der Mechanikus Quintenz 1821 zu Straßburg zuerst construirte.

Das Princip der Straßburger Brückenwage ersieht man am leichtesten, wenn man folgende Zeichnung zu Grunde legt. An dem festen Gestelle XYZ sei bei X



ein Hebel soek angebracht mit dem Drehpunkte o und den Zugstangen eh und kh in e und k; die Zugstange kh halte den Hebel hi mit seinem Drehpunkte in i und eh den Hebel hn mit seinem Drehpunkte in n, welcher auf dem Hebel hi in c angebracht ist, während der Drehpunkt i auf dem Gestelle liegt. Auf dem Hebel hn befindet sich ein Bret, die sogenannte Brücke, B und auf dieser ruhe die Last L.

Der Schwerpunkt der unbelasteten Brücke B sei in s, der der Last L in a, so zieht in e eine Kraft $\frac{L \cdot an}{bn}$ und eine zweite $\frac{B \cdot sn}{bn}$; die Last drückt auf c mit

einer Kraft $= \frac{L \cdot ha}{hn}$ und ebenso die Brücke mit einer Kraft $= \frac{B \cdot sh}{bn}$; folglich

zieht in k wegen der Last eine Kraft $= L \cdot \frac{ha}{bn} \cdot \frac{ci}{hi}$ und wegen der Brücke eine zweite Kraft $= \frac{B \cdot sh}{bn} \cdot \frac{ci}{hi}$. Ist nun das Gewicht der leeren Schale bei $f = p$

und das in derselben liegende Gewicht $= P$, so ist bei eintretendem Gleichgewichte:

$$(P + p) \cdot fo = \left(\frac{L \cdot an}{bn} + \frac{B \cdot sn}{bn} \right) eo + \left(\frac{L \cdot ha}{bn} \cdot \frac{ci}{hi} + \frac{B \cdot sh}{bn} \cdot \frac{ci}{hi} \right) ok$$

$$\text{oder} = \left(\frac{L \cdot an}{bn} + \frac{B \cdot sn}{bn} \right) eo + \left(\frac{L \cdot ha}{bn} + \frac{B \cdot sh}{bn} \right) \frac{ci}{hi} \cdot ok.$$

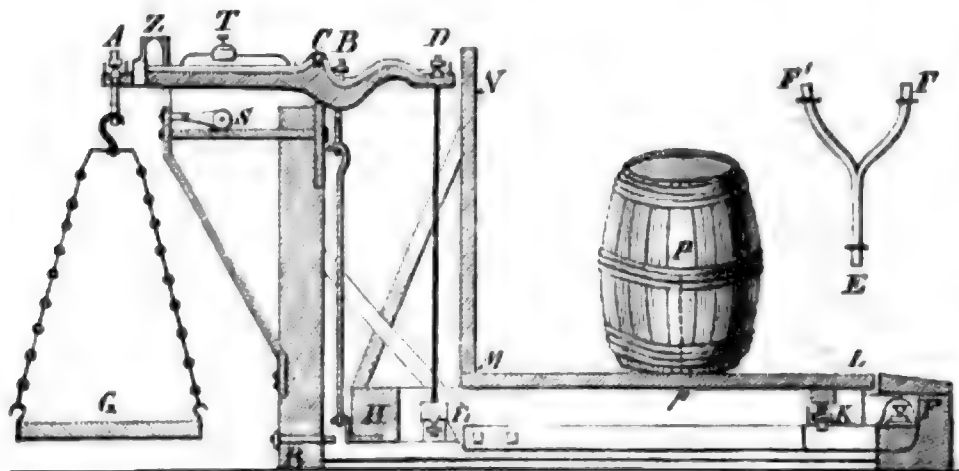
Ist $eo = \frac{ci}{hi} \cdot ok$, d. h. verhält sich $eo : ok = ci : hi$, so wird

$$(P + p) \cdot fo = \left(L \cdot \frac{an + ha}{bn} + B \cdot \frac{sn + sh}{bn} \right) eo, \text{ d. h. } = (L + B)eo,$$

d. h. es kommt, wenn das Verhältniß $eo : ok = ci : hi$ zur Ausführung gekommen ist, auf die Stelle des Schwerpunktes der Last und der Brücke nicht an.

Wenn nun die Wage so eingerichtet wird, daß die unbelastete Schale bei unbelasteter Brücke Gleichgewicht herstellt, d. h. wenn $p \cdot so = h \cdot oe$ ist, so muß $L = p \cdot \frac{so}{oe}$ sein *). Macht man also $so = 10 \cdot oe$, so ist die Last zehnmal größer als das zum Abwägen gebrauchte Gewicht, und die Wage eine Decimalwage.

Anschaulich wird die beistehende Abbildung diese Brückenwage in der Aus-



führung machen. Der einarmige Hebel EF ist gabelförmig gestaltet und um die festen Punkte F, F' (s. die besondere Zeichnung) drehbar, von denen in der Durchschnittszeichnung nur F sichtbar ist. Von dem anderen Ende E dieses Hebels geht die Zugstange ED an den zweiarmigen Hebel ACBD, und auf den Gabelschenkeln F und F' befinden sich nach oben gerichtete Schneiden K und K₁, von denen nur K sichtbar ist. Diese Schneiden bilden die Drehaxe für den ebenfalls gabelförmig gestalteten Hebel HK, welcher die Brücke NML trägt und mittels der Zugstange BH bei B an dem zweiarmigen Hebel gehalten wird. Nach der oben gegebenen Theorie muß nun CB sich zu CD genau so verhalten, wie KF zu EF, und überdies bringt man den Aufhängepunkt A der Wagschale G in zehnmal größerer Entfernung, als die der Schneide B von dem Drehpunkte C ist, an. Um die Wage nicht zu leicht zu beschädigen, namentlich um die Schneiden zu schonen, arretirt man dieselbe beim Auf- und Abladen der Last von der Brücke, indem man einen an dem Gestelle befestigten Hebel S unter den Arm AC drückt und dadurch den Schneiden B und D eine so tiefe Lage ertheilt, daß, während die einarmigen Hebel festliegen, die Zugstangen BH und DE ganz frei hängen. Die Hebel und die Brücke ruhen alsdann nämlich auf festen Unterlagen, von denen nur die eine für H bei R zu sehen ist. Ist der Hebel S zurückgezogen und die Wage frei, so bringt man durch Gewichte auf der Schale G Gleichgewicht hervor, was man daran erkennt, daß bei Z zwei Schneiden, von denen die eine an dem Arme AC, die andere an demselben Gestelle, welches den Hebel S trägt, befestigt ist, sich genau gegenüberstehen. Da der Theorie nach die unbelastete Wage bereits im Gleichgewichte stehen soll, so ist an dem Wagearme AC ein verschiebbares Gewicht T

*) Gm 8 mann phys. Aufg. S. 53 und 146. Aufg. 12.

angebracht, mittelst dessen man den Gleichgewichtsstand herbeiführen kann, oder unter dem Haken, mittelst dessen die Schale eingehakt wird, befindet sich ein kleiner Zeller, den man mit Tara beschweren kann, um dasselbe zu erreichen.

Die Last P wirkt bei dieser Wage auf der Brücke liegend ganz so, als ob sie unmittelbar an dem Punkte B läge; die Theorie ergiebt auch, daß die Stelle, in welcher die Schwerlinie Pp der Last die Brücke trifft, gleichgültig ist, daß es namentlich nichts ausmacht, ob dieselbe näher an M oder an L liegt; nur das hat man zu beobachten, daß die Last möglichst der Breite der Brücke nach die Mitte hält, weil sonst die Schneiden F und F' , ebenso K und K' einen ungleichen Druck erleiden.

Vergleichen Brückenwagen sind in mehreren Modificationen ausgeführt; auch die Straßen- oder Mautwagen beruhen im Allgemeinen auf demselben Principe, mittelst deren man das Gewicht eines ganzen Lastwagens bestimmen kann, indem z. B. in England das Chausseeregeln nach dem Verhältnisse der Breite der Ratselgen und dem Gewichte des Wagens berechnet wird: wir müssen jedoch wegen des Näheren auf speciellere technische Werke verweisen und empfehlen in dieser Beziehung Bredt's technologische Encyclopädie Bd. XX. Art. Wage.

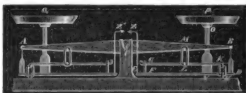
Als für den Physiker von Interesse erwähnen wir noch die Leupold'sche Universalwage. Dieselbe besteht aus einem parallelepipedischen Stabe von Holz, Eisen oder Messing, der von seinem Mittelpunkte aus in gleiche Theile getheilt ist. Ein Stativ trägt die Pfannen, auf welchen die Zayfen ruhen. Schwere und Zunge fehlen ganz, weil das Instrument zu feinen Wägungen nicht bestimmt ist und man die Horizontalität des Balkens schon wegen seiner Länge wohl erkennen kann. Die Zayfen, welche zur Aufhängung des Wagebalkens dienen, so wie die, an welche die Wagischalen gehängt werden, sind an Kapseln angebracht, welche über den Wagebalken geschoben und an welchem Punkte man will mit Schrauben angebrückt werden. Daher kann man alle drei Punkte: den Umkehrungspunkt und die beiden Angriffspunkte des Hebels bequem verlegen. Man bedient sich dieses Instruments, um alle Geseze des Hebels und der Wage mit Hülfe desselben zu erläutern.

Der Curiosität halber nehmen wir auch noch schließlich ein von Roberval im 17. Jahrhundert als ein mechanisches Paradoxon vorgelegtes, nach ihm die Roberval'sche Wage genanntes Instrument auf. Es besteht dasselbe in einem zusammengefügten Hebel, an dem Kräfte, welche einmal im Gleichgewicht sind, beständig in demselben verharren, in welche Entfernung vom Ruhepunkte man sie auch bringen mag, selbst dann sogar, wenn sie sich auf derselben Seite vom Ruhepunkte befinden. Die vier Lineale (s. beistehende Fig.) ab , bc , cd , da bilden zusammen ein Parallelogramm, und sind durch vier Nägel a , b , c , d dergestalt mit einander verbunden, daß sie sich um selbige frei drehen können. Die beiden Lineale ab und cd sind in der Mitte mit den beiden Stiften e und f an das Fußgestelle gh so befestigt, daß sie sich ebenfalls um selbige drehen lassen. Auf solche Art kann das ganze Parallelogramm die punktirte Lage annehmen, jedoch so, daß die beiden gegenüberstehenden Seiten beständig gleich und parallel, und ad und bc immer vertical bleiben. Bringt man nun an



diese Lineale ad und bc die Arme mi und no senkrecht an, und befestigt dieselben bei p und q so, daß sie sich nicht drehen können, so werden die gleichen Gewichte k und l im Gleichgewichte sein, an was für Punkten der Arme mi und no sie auch hängen mögen. Man hänge z. B. k an m und l an o , wie es die Figur vorstellt, so wird Alles im Gleichgewichte sein, obgleich k dem Ruhepunkte oder der stehenden Säule gh näher, als l scheint. — Weil das Lineal im bei p ganz fest ist, so kann das in m aufgehängene Gewicht k nicht anders wirken, als wenn es in p angebracht nach der verticalen Richtung ad wirkt. Wenn sich hingegen das Gewicht um p drehen könnte, so würde alsdann das Moment $k \cdot mp$ in Betrachtung gezogen werden müssen; weil aber diese Umdrehung wegen der Befestigung in p nicht stattfinden kann, ohne zugleich das Lineal ad aus der verticalen Lage zu bringen, so wird durch dieses statische Moment bloß eine Steimmung der beiden Lineale ab und cd gegen die Nägel e und f zu Wege gebracht, und die ziehende Kraft nach der verticalen Richtung an diesem Lineale im ist weder stärker noch geringer, als wenn k an p selbst angebracht wäre, indem dieser Ruhepunkt des Hebels ipm das Gewicht p mit zu tragen bekommt. Die nämliche Beschaffenheit hat es mit dem Gewichte l . Within bleibt Alles im Gleichgewichte, wenn nur p und q gleich weit von e entfernt sind, und auf beiden Seiten Alles gleich schwer ist. — Der nämliche Erfolg würde statt haben, wenn der feste Arm im bis r verlängert würde, und k in r hänge, in welchem Falle k und l auf einerlei Seite des Ruhepunktes zu hängen scheinen. Hierbei würde aber natürlich vorausgesetzt werden müssen, daß der Arm ir eben so schwer als der kürzere no wäre, wenn die Wage im Gleichgewichte sein sollte.

Verwendung hat diese Roberval'sche Wage übrigens in der von Beranger zu Lyon construirten, jetzt ziemlich verbreiteten Tafelwage gefunden. Die Art der Zusammensetzung wird aus der beigefügten Zeichnung anschaulich werden.



Die Wage ist in beiden Hälften symmetrisch gebaut: ACB ist der Wagebalken mit der Welle C , außerdem sind noch auf jeder Seite je zwei Hebel DE und GK , von denen DE sich nur parallel mit sich selbst auf- und abbewegen kann. Diese letzte Bedingung ist einer der wesentlichsten Punkte und wird auf folgende Art erreicht. Die Wageschale P , getragen von NO , steht mit DE bei N in fester Verbindung; eine Last in der Schale zieht daher bei B den Wagebalken herab, da DE und B mit einander in Verbindung stehen und DE herabgedrückt wird. Der Hebel GK wird durch den langgezogenen Ring ML von dem Wagebalken getragen und bei K durch den an dem Gestelle bei H befestigten Ring HK gehalten; da nun bei G der Hebel DE mittelst FG an dem Hebel KL hängt, so muß, wenn der Arm BC bei B herabgeht, auch L , folglich auch F abwärts gehen, und zwar wird DE parallel mit sich selbst bleiben, wenn F und D immer einen gleich großen Weg

zurücklegen, was der Fall sein wird, sobald bei horizontaler Lage der Linie CB auch GLK und DE horizontal sind, M in der Mitte zwischen B und C liegt und $LG = LK$ ist. Die Stelle N, an welcher die Schale P auf DE befestigt wird, ist dann nach dem Robertval'schen Principe gleichgültig. An den Hebeln DE sind die Zeiger Z und Z' bei E befestigt; stehen dieselben bei horizontaler Lage von ACB einander gegenüber, so zeigen sie auch dann gleiche Belastungen in P und Q an, wenn sie mit ihren Spitzen einander entgegenstehen.

Diese Wagen sind bequem, weil man durch keine, die Schalen tragenden Ketten beim Auflegen des abzuwägenden Gegenstandes auf die Schale gehindert wird; zu feineren Abwägungen sind dieselben indessen wegen der großen Reibung an den Verbindungsstellen der einzelnen Hebel nicht geeignet.

S. G.

Wasser, s. Wasserstoff.

Wasserhammer (*marteau d'eau*) nennt man eine gläserne Röhre, welche etwas Wasser enthält, übrigenst luftleer und an beiden Enden verschlossen ist. Dieselbe ist meist 10 bis 12 Zoll lang und 0,5 bis 1 Z. weit, geht am oberen Ende in eine Spitze aus, und ist unten halbkugelförmig erweitert oder mit einer angeblasenen Kugel versehen. Hält man diese Röhre erst mit der Spitze nach unten und kehrt sie dann schnell um, so schlägt das Wasser mit einem Schall an, als ob ein fester, harter Körper gegen das Glas schlug. Man kann den Wasserhammer leicht herstellen, wenn man anfangs die Spitze offen läßt, das Wasser in dem unteren Theil über einer Lampe zum Sieden bringt und nachdem alle Luft ausgetrieben, die Röhre aber ganz mit Wasserdampf gefüllt ist, die Spitze zuschmilzt. Gewöhnlich besteht der Wasserhammer aus einer Röhre von den angegebenen Dimensionen, die an dem einen Ende gewölbt zugeblasen und am anderen Ende vermittelt eines kurzen, sehr engen Röhrchens mit einer Kugel von 1 bis 2 Zoll Durchmesser verbunden ist. Der Grund des heftigen Anschlagens des Wassers ist der Mangel an Luft im Innern der Röhre, so daß die Bewegung des Wassers keine Verzögerung erfährt. Das scharfe Anschlagen einer Flüssigkeit an das Glas im luftleeren Raume beobachtet man auch an jedem Barometer, wenn es umgewendet wird, welches daher mit einiger Vorsicht geschehen muß, um das Springen des Glases zu verhüten.

Man nennt den Wasserhammer wohl auch **Pulshammer**, weil er auch dazu benutzt werden kann, um das Sieden einer Flüssigkeit im luftleeren Raume durch die bloße Wärme der Hand anschaulich zu machen. Doch benutzt man zu diesem Behufe gewöhnlich die Franklin'sche Röhre *), die auch unter dem Namen des Pulshammers bekannt ist. Dieselbe hat ganz die Einrichtung des Walloston'schen Krypophorus (s. Art. Verdunstung S. 498, Fig.), so daß sie also aus zwei Kugeln besteht, die durch eine Röhre mit einander verbunden sind; nur sind ihre Dimensionen meist etwas kleiner (die Röhre 5 — 6 Zoll lang, die Kugeln ungefähr 1,5 im Durchmesser), und sie enthält Weingeist, während der Krypophorus zum Theil mit Wasser angefüllt ist. Hält man nun die Röhre horizontal und die Kugeln nach oben gerichtet, während sich der Weingeist in jeder der

*) De Saussure, *Essays sur l'Hygrométrie*. Ess. III. chap. I. §. 186. Robison, *System of mechanical Philosophy etc.* Edinb. 1822. T. II. p. 14.

Kugeln etwa zur Hälfte befindet, so wird die Flüssigkeit, wenn man die eine Kugel mit der Hand umschließt, sich nach der anderen Kugel bewegen und heftig zu siedern beginnen.

Wasserhose, Wassertrompete, Wassersäule, Seehose, Landhose, Erdtrombe, Landwasserhose, Windhose, Wettersäule, Trombe sind Benennungen für eines der merkwürdigsten und gewaltigsten Meteoze, das ebensowohl auf dem Lande (Landhose), als auf dem Wasser (Wasserhose) und zwar nicht bloß auf dem Meere, sondern auch auf Flüssen vorkommt, und dessen eigenthümliche Beschaffenheit am besten aus der Mittheilung einiger Beobachtungen, deren es eine große Anzahl giebt, erhellen wird. Vorweg bemerken wir jedoch, daß der allgemeine Name dieses Phänomens ohne Rücksicht darauf, ob der Inhalt desselben Wasser ist oder nicht, Wettersäule sein dürfte, wie auch wegen der trompetenförmigen Gestalt die Franzosen den auch bei uns immer mehr in Gebrauch kommenden allgemeinen Ausdruck Trombe haben. Wir würden also Wasser-Wettersäule, Sand-Wettersäule u. zu unterscheiden haben *).

Desmarquoy **) giebt von einer Trombe Nachricht, welche am 6. Juli 1822 mehrere Communen in Pas de Calais verwüstet hat. An dem genannten Tage um 1 Uhr 35 Min. Nachmittag mußten die Arbeiter in der Ebene von Ossonval, einer Dorfschaft, 6 franz. M. westüdwestlich von Saint-Omer und 6 franz. M. südwestlich von Boulogne, ihr Tagewerk wegen der eintretenden Finsterniß und aus Furcht vor einem Unwetter, mit dem sie bedroht waren, verlassen. Gewölk kam von verschiedenen Punkten und sammelte sich schnell über der Ebene. Bald bildete es nur Eine Wolke, welche allein den ganzen Horizont bedeckte. Einen Augenblick nachher sah man aus dieser Wolke einen dicken Dunst niedersteigen, welcher die bläuliche Farbe des brennenden Schwefels hatte; er bildete einen umgekehrten Kegels, dessen Basis (breiter Theil) sich gegen die Wolke stützte. Der untere Theil des Kegels, welcher zur Erde herab kam, bildete bald, indem er sich mit beträchtlicher Geschwindigkeit drehte, eine ungefähr 30 Fuß lange, oblonge, von der Wolke abgelöste Masse. Sie erhob sich mit dem Tosen einer Bombe von großem Kaliber, welche zerplatzte, und hinterließ auf der Erde eine Vertiefung in Gestalt eines kreisförmigen Bassins von 20 bis 25 Fuß Umfang und 3 bis 4 Fuß Tiefe in der Mitte. Kaum hundert Schritt von dem Orte, von welchem sie ausgegangen und von welchem sie sich von West nach Ost gerichtet hatte, übersprang die Trombe die Hecke eines Meierhofes, schlug eine Scheune nieder, und ertheilte dem Wohnsitz, welcher fest gebaut war, eine Erschütterung, welche der Wacker mit einem Erdstoß verglich. Beim Ueberspringen der Hecke hatte sie die Kronen der

*) Eine sehr reichhaltige Zusammenstellung von hierher gehörigen Beobachtungen giebt Munk in Gehler's phys. Wörterb. Neue Bearb. Bd. X. S. 1633; auch Rams in seiner Meteorologie Bd. II. S. 344 ff. bietet eine Menge Material; außerdem verweisen wir noch auf Poggenдорff's Ann. Bd. XVII. S. 482; Bd. XXXVI. S. 231; Bd. LV. S. 331; Bd. LXXXII. S. 433; Bd. CIV. S. 631; eine allgemeine Schilderung findet sich in Gilbert's Ann. Bd. XII. S. 242; auch sind noch zu erwähnen: Derstedt in Schumacher's Jahrb. f. 1838, S. 228, und Veltier in Traité experimental de l'Electr. et du Magnet, par Becquerel. T. VI. p. 173. Paris 1840.

**) Edinburgh Philosoph. Journ. N. XXII. p. 403. Die Schilderung findet sich bereits in der ersten Ausgabe unseres Lexicon.

stärksten Bäume zerrissen und fortgenommen; 25 bis 30 Bäume waren nach verschiedenen Richtungen niedergestreckt, ein Beweis, daß sich die Trombe auf ihrem Wege in drehender Bewegung befunden hatte. Andere waren emporgehoben worden und so wie mehrere Baumkronen an den Gipfeln der höchsten (60 bis 70 F. hohen) Bäume hängen geblieben. Nach diesen ersten Wirkungen durchlief die Trombe eine Entfernung von 2 franz. Meilen, ohne die Erde zu berühren, indem sie gewaltige Baumäste mit sich fortführte, die sie mit Getöse rechts und links ausstie. Angekommen auf der Höhe des Gehölzes von Tanquembergue, riß sie aufs neue die Gipfel mehrerer Eichen ab, die man mit ihr über das Dorf Vendome hingehen sah, welches auf der Westseite des Forstes am Fuße des Hügels liegt. In dieser Gemeinde richtete die Trombe weiter keine Verwüstung an, als daß sie auf einer Wiese einen starken Maulbeerfeigenbaum mit der Wurzel aufhob, und ihn in einer Entfernung von 600 F. erst wieder fallen ließ. Indem sie ihren Weg nach Art einer Geschüßkugel, welche gegen die Erde schlägt und zurückprallend sich wieder erhebt, fortsetzte, kam die Trombe nach dem Dorfe Audinctun, wo sie 3 Häuser abdeckte und mehrere Bäume aufhob, unter andern 5 sehr hohe Ulmen, welche alle 5 von einem Stock ausgingen. Beim Austritt aus dem Thale, in welchem diese letzten Dörfer liegen, erhob sich die Trombe auf einen Berg, Capelle genannt. Mehrere Landleute, die hier arbeiteten, sahen mit Schrecken die außerordentliche Phänomen durch ihre Wohnungen gehen; sie fürchteten bald für sich selbst, und hatten um der Gefahr zu entgehen, nur noch Zeit sich niederzulegen, indem sie ihre Ackerwerkzeuge umklammerten. Sie bemerkten verwundert, daß ihre Pferde niedergeschlagen waren, aber nicht scheu wurden; einer der Pflüge wurde so stark in die Erde geschlagen, daß er der Anstrengung dreier Pferde widerstand, sie bedienten sich einer Hacke, um ihn nicht zu zerbrechen. Von diesen Arbeitern, welche auf dem Berge standen, so daß sie die Trombe ankommen sehen und in ihrem Laufe verfolgen konnten, erfuhr Desmarquoy einiges über ihre Gestalt, Größe und die Bestandtheile, aus welchen sie etwa zusammengesetzt sein mochte. Die Gestalt war oval, ihre Länge schien ungefähr 30 F. zu betragen, und ihr anderer Durchmesser mochte etwa 20 F. haben. Die Trombe drehte sich auf ihrem Wege, so daß sie nach und nach jede ihrer Seiten gegen jeden Punkt des Horizonts kehrte. Von Zeit zu Zeit gingen aus ihrem Inneren Feuerkugeln aus, und oft auch Dampfkugeln, wie von Schwefeldampf. Die einen wie die anderen warfen nach verschiedenen Richtungen Aeste aus, welche das Meteor von weit entfernten Punkten mit sich fortgerissen hatte. Das Getöse, welches dasselbe bei seinem schnellen Gange machte, glich dem eines schweren Wagens, der im Galopp auf einem gepflasterten Wege gezogen wird. Man hörte jedesmal, wenn eine Kugel von Feuer oder Dampf erschien, eine Explosion gleich einem Flintenschuß; der heftige es begleitende Wind mischte sich mit schreckhaftem Brausen in dieses Geräusch. Nachdem die Trombe die Erde zerrissen und alles mit sich fortgeführt, was ihr an irgend einem Punkte Widerstand geleistet, erhob sie sich über den Boden, um in einer Entfernung von einer und zuweilen bis 2 Lieues neue Verwüstungen anzurichten. Auf diese Weise verließ sie den Berg Capelle und ging immer in derselben Richtung nach dem 1 Lieue vom Berge entfernten Hernin-Saint-Julien, wo sie verschiedene Heuschöber und viele Bäume aufhob. Von diesem Dorfe bis zu dem 3 Lieues entfernten Witerneestre richtete die Trombe keine bedeutende Verwüstung an; man erkannte nur auf dem Berge, welcher Hernin

von Stré-Blanche trennt, eine Furche von 30 F. Breite, in welcher das Getreide zerstört war, in einer Ausdehnung von 30 Morgen Landes auf dem Gipfel des Berges. Von da drang sie in das Thal von Witerneestre und Lambre. Von dem erstgenannten Dorfe, welches aus 40 Wohnungen besteht, blieben nur 8 unverlegt. Zweiunddreißig Häuser mit ihren Scheunen wurden umgestürzt, eine ungeheure Anzahl Bäume niedergeschmettert, zerrissen und auf große Strecken fortgeführt. Man bemerkte zu Witerneestre, daß die Giebel und Mauern der Häuser in von innen nach außen divergirender Richtung niedergeworfen waren. Nicht geringer war das Unglück zu Lambre. Mehrere Personen unterschieden vollkommen den drehenden Gang des Meteoros, seine schwefligbraune Farbe und den Mittelpunkt von glühendem Feuer, aus dem ruckweise bituminöse Dämpfe hervorbrachen. Die Bäume, welche die Kirche umgaben, wurden zerbrochen und entwurzelt, die Mauer und das Dach der Pfarrwohnung aufgehoben und 18 Häuser, die meist aus Backsteinen erbaut waren, am Grunde untergraben und so merkwürdig umgestürzt, daß die Mauern alle nach außen fielen. Ein glücklicher Umstand mitten unter diesen gewaltigen Zerstörungen war, daß Niemand dabei umkam, nicht einmal in den beiden zuletzt genannten Dörfern. Nur Ein Individuum zu Witerneestre wurde durch einen Balken am Arme schwer verwundet. Nachdem die Trombe Lambre verlassen, theilte sie sich, ein Theil ging in die Lüfte auseinander, der andere, der nur einer durch einen heftigen nordwestlichen Wind getriebenen Wolke glich, begab sich über Lillers, ein Marktflecken 3 Lieues von Lambre, wo er fast 300 Bäume entwurzelte und zerbrach; darauf ging auch er auseinander. Um 3 Uhr war das Wetter ruhig, der Himmel fast ganz frei, und der Donner, welcher sich fortwährend an allen Punkten des Horizonts hatte hören lassen, hörte zugleich mit der Trombe auf. Der folgende Abend und die folgende Nacht waren sehr schön.

Eine andere Trombe, welche in der Umgegend von Trier am 25. Juni 1829 beobachtet wurde, beschreibt Großmann *). Gegen 2 Uhr Nachmittags zeigte sich 1 Meile unter Trier, in O.N.D. von Ruwer und Pfalzel, etwa 20° über dem Horizont, ein Phänomen, welches eine große Anzahl von Menschen, die auswärts beschäftigt waren, in Erstaunen setzte, und eine halbe Stunde lang in unruhiger Erwartung erhielt. Der Himmel war nach dem Regen, der so eben gefallen war, noch bedeckt, als plötzlich mitten aus einer schwarzen Wolke, welche sich von O.N.D. erhob, eine leuchtende Masse in entgegengesetzter Richtung sich zu bewegen, und sie gewaltsam zu zerreißen begann. Die Wolke nahm bald gegen die Höhe die Gestalt eines Schornsteines an, aus welchem ein grauweißer Rauch entwich, der in Zwischenräumen mit Flammenausbrüchen gemischt war, und der aus mehreren Oeffnungen sich mit solcher Gewalt erhob (wie sich eine Anzahl der Augenzeugen ausdrückte), als wenn er mit großer Lebhaftigkeit aus mehreren Blasebälgen (Gebläsen) geblasen worden wäre. Das Meteor war über den Weinbergen von Disburg und gegenüber von Ruwer angekommen, als in einiger Entfernung mehr südlich auf dem rechten Ufer der Mosel plötzlich in Berührung mit dem Boden ein neues Meteor, wie mehreren Beobachtern schien, auf schreckliche Weise erschien; es zerstreute Massen von Steinkohle, welche um einen Baum angehäuft waren, stürzte einen Arbeiter von einem Kalkofen und stürzte sich quer durch die Mosel mit einem schrecklichen Krachen, wie wenn eine große Anzahl Steine gegen einander stießen.

*) Schweigger's Journ. Bd. LVI. S. 372.

Das Wasser schloß in einer hohen Säule auf. Dieses letzte Meteor ging, immer auf der Erde mit demselben Krachen hinrollend, von der Mosel durch die Felder von Pfalzel, indem es sichtbare Spuren seines Weges im Zickzack durch die mit Feldfrüchten bedeckten Felder hinterließ. Ein Theil dieser Feldfrüchte ward ganz zerstört, ein anderer Theil umgelegt und zerschlagen, das Uebrige fern in die Lüfte aufgehoben. Mehrere Frauen, bei denen das Meteor vorüberging, fielen in Ohnmacht; andere, die weiter entfernt waren, verbargen sich oder flohen schreiend: Alle Felder stehen in Feuer! Zwei Arbeiter, welche auf einen Baum gestiegen waren, beobachteten das Meteor auf seinem ganzen Zuge; ein anderer hatte sogar die Besinnung und den Muth, dem Meteor zu folgen, und dies war bei einem gewöhnlichen Schritt leicht möglich. Aber in einem der Zickzacke, die es beschrieb, hüllte ihn das Meteor plötzlich ein. Er fühlte sich bald vorwärts gezogen, bald heftig gehoben, er stemmte sich kräftig mit seinem Handwerkszeug gegen den Boden, aber er wurde dennoch rückwärts hingeworfen. Der Wirbel verließ ihn jedoch und setzte seinen Weg fort. Er erinnert sich keines besonderen Eintrudes, welcher Geruch oder Geschmack getroffen hätte, sondern nur eines betäubenden Geräusches. Er versichert, es hätte zwei Ströme gegeben, von denen der eine sich schief erhob und mit sich die Stengel und Aehren und andere leichte Körper fortgerissen hätte, der andere aber eine entgegengesetzte Richtung hatte. Der Weg, den sich das Meteor durch die Felder gebahnt, hatte nach verschiedenen Verhältnissen 10 bis 18 Schritt Breite und eine Länge von 2100 Schritt. Seine Gestalt war beinahe konisch, seine Farbe bald grauweiß oder gelb, bald dunkelbraun, sehr oft feuerfarben. Das erste Meteor war in der Luft über diesem hier ungefähr in paralleler Richtung gegen Nord voraus; es bot während ungefähr 18 Minuten eine große Masse von grauweißer Farbe dar, welche zuweilen von der Flamme gerätheten Rauch auszustossen schien, und welche in der Entfernung von ungefähr einer Viertelmeile gesehen die Gestalt einer Schlange von 140 Schritt Länge hatte, deren Kopf gegen NW. gerichtet war, und deren Schwanz auf der entgegengesetzten Seite lag. In 8 bis 10 Minuten hatte sich der Schwanz schon geändert, indem er sich senkte; im Augenblicke, wo er im Begriff stand, den Kopf zu berühren, verschwand das ganze Phänomen und gleichzeitig auch das untere Meteor, ohne daß weder in dem Theile, der sich in der Luft befand, noch, wie ein Augenzeuge versichert, in dem unteren Theile eine Explosion stattfand; aber dann verbreitete sich ein sehr übelriechender Schwefelgeruch über das Feld weithin. Beinahe gleichzeitig brach ein Unwetter über dem Orhöhl aus, welches in NW. von dem Orte lag, wo sich das Meteor gezeigt hatte, und wurde von einem Hagel von ungewöhnlich großen Körnern begleitet. Während dieser ganzen Zeit schien die Sonne nicht, wie die Mehrzahl der Beobachter versichert; und es fand auch kein Wind statt. Das obere Meteor wurde zu Gutweiler, Gossel, Trier und an anderen Orten beobachtet; es schien von den Höhen des Hochwaldes herabgestiegen zu sein. —

Folgendes Beispiel zeigt besonders deutlich, wie groß die Kraft des Windes ist und mit welcher Schnelligkeit sich die Luftmassen bewegen. Ein Captain, Records *) von London, welcher im Jahre 1674 das Schiff the Blessing von 300 Tonnen und 16 Kanonen mit Ladung nach der Küste von Guinea führte,

*) Kämpf, Meteor. II. S. 550.

bemerkte in der Breite von 7 bis 8° N. mehrere Wasserhosen, von denen die eine gerade auf sein Schiff zukam. Da er keinen Wind hatte, um sich von ihr zu entfernen, so machte er zu ihrem Empfange durch Einziehung der Segel Anstalt. Die Wasserhose kam mit großer Schnelligkeit herbei und plähte zuvor, ehe sie am Schiffe anlangte, sie machte dabei ein großes Geräusch und warf das Wasser ringsumher in die Höhe, wie wenn man in das Meer ein Haus oder dergleichen geworfen hätte. Die Wuth des Windes dauerte fort und ergriff das Schiff am Steuerbord mit einer solchen Heftigkeit, daß er auf einmal den Vogelpriemast und den Fockmast zerbrach, überflügelte das ganze Schiff der Länge nach, warf es auf die Seite, und hätte es fast umgeworfen. Allein das Schiff wurde bald wieder aufgerichtet, weil der Wind es in Wirbeln mit der nämlichen Wuth und auf der gegenüberstehenden Seite ergriff, und es auf die andere Seite warf. — Einen anderen Fall dieser Art erzählt Dr. Mercer in einem Briefe an Franklin. In dem Hafen St. Jean auf Antigua sah derselbe zwei oder drei Wasserhosen; auf der Oberfläche des Meeres zeigte sich ein Kreis von etwa 20 Ruthen im Durchmesser, in welchem das Wasser heftig bewegt und schnell in die Luft getrieben wurde. Als sie auf das Land kam, nahm sie Latten, Stangen, große Stücke Zimmerholz, ein kleines hölzernes Häuschen u. s. w. mit sich fort, sie hob letzteres aus seinem Fundamente heraus, führte es 40 F. von seiner Stelle fort, und stellte es hier wieder auf, ohne es zu zerbrechen oder umzuwerfen. Dabei war es merkwürdig, daß das Haus von Osten nach Westen getragen wurde, obgleich die Wasserhose ihren Zug von Westen nach Osten nahm. Zwei oder drei Neger und eine weiße Frau wurden durch den Fall eines in die Höhe gehobenen und herabfallenden Balkens getödtet. — Zu Ahlone in Irland sah man am 18. Juli 1822 Nachmittags um 4 Uhr eine schwarze Wolke, aus der ein Schweif bis zur Erde herabging. Er bewegte sich mit der Wolke langsam fort, zerbrach mehrere große Baumstämme und schleuderte sie über 100 Fuß weit fort, hob Heuschaber in die Luft, von denen keine Spur mehr zu sehen war, und nahm das Dach von einem Hause wie einen Hut vom Kopfe eines Menschen, und ließ es 1½ Meile davon in tausend Trümmern wieder auf die Erde fallen. Dieser Schweif wechselte oft in Gestalt und Farbe; bald glich er einer starren Säule, bald wand er sich wie ein Al, bald war er schwarz und dunkel, bald hellblau und wie von einem lichten Nebel umflort. — Am 25. Oct. 1820 hatte man *) auf einer Bleiche zu Arnsdorf in Schlessen so eben einige hundert Schock weiße Leinwand, die auf derselben ausgespannt waren, begossen, und die Leute saßen eben bei Tische, als nach 12 Uhr ein Sturmwind hereinbrach, der so dicke Staubwolken aufwirbelte, daß sich das Tageslicht in dicke Finsterniß verwandelte. Er drückte die Fenster des Bleichhauses, auf welche er stieß, ein, warf die Flügelthüren unter fürchterlichem Krachen ein, hob alle anderen Thüren in dem Gebäude aus ihren Angeln, so daß der Wind überall quer durch dasselbe hinrauschte, und warf einen großen Leiterwagen, der vor der Thüre stand, so um, daß die Räder zu oberst gekehrt waren. Die Leinwand wurde emporgehoben und in mehrere Knäule aufgewickelt, und der größte derselben in gerader Richtung mehr als 40 Fuß hoch über das bedeutend hohe Bleichhaus fortgeführt und 150 Schritte weit in Gräben und Strauchwerk geschleudert. Man hatte mehrere Stunden lang zu thun, um die ganze in einander gefüllte Masse

*) Gilbert's Ann. Bd. LXXIII. S. 109.

wieder zu entwirren; sie bestand aus 27 Schock, von denen jedes naß 23 Pfund wog, und in der Mitte des Knäuels steckte ein 7 F. langer, $2\frac{1}{2}$ Z. dicker und 11 Z. breiter Pfosten, der zum Steg über einen nicht weit entfernten Graben gedient hatte. Der Wirbelwind hatte ihn zugleich mit der Leinwand in die Luft geführt, diese um ihn wie um eine Rolle aufgewickelt und den, ohne den Pfosten, 4 Cir. 93 Pfd. schweren Knäuel über das Haus weggeführt. Alles dieses war in Zeit von 2 Minuten geschehen. —

Am 10. Juni 1858 erschien eine Wetterfäule unweit Bonn, welche oberhalb Königswinter zwei Mal über den Rhein ging und von Dr. Gerhard vom Rath genau beschrieben worden ist *). Wir entnehmen der Schilderung Folgendes: Es mochte 1 Uhr 20 Min. sein, als von der Mehlemmer Au, gegenüber Königswinter, in der Richtung von Homert, also gegen SSO., ein aschgraues Band am Himmel gesehen wurde. In seinen oberen Theilen flog es fast senkrecht auf, während es unten sich schief emporzog. Die Höhe, welche es erreichte, mußte sehr bedeutend, wenigstens 2000 Fuß sein. Wo derselbe auf dem Boden ruhte, erblickte man eine schwarze Staubmasse in wirbelnder Bewegung hinaufgezogen.



Der dunkle Streif war also eine aus den feinsten Staubtheilchen gebildete Säule. Der Wirbel trieb durch mächtige, im Kreise sich fortplanzende Stöße große Staub- und Erdmassen auf, deren schwerere Theile zurückfielen, während die leichteren schnell in große Höhen getragen wurden. Anfangs hatte der Anblick eine gewisse Ähnlichkeit mit einem großen Brande, dessen Kohlenqualm von heftigem Winde bewegt wird. Der Wirbel war in fortschreitender Bewegung begriffen, sie war

*) Pogg. Ann. Bd. CIV. S. 631.

gegen NW. gerichtet. Der Spiegel des Rheins war bald erreicht. Da erhob sich das Wasser, indem auf der Peripherie eines Kreises, dessen Durchmesser 50 Schritte betragen mochte, Kämme und Strahlen von Wasser und Schaum empor sprangen. Die schöne Erscheinung glich einer sich drehenden Krone, deren weiße Schaumstrahlen 20 bis 30 Fuß aufschossen. Die innere Kreisfläche zeigte sich dabei zu einem Schilde aufgewölbt und mit Schaum bedeckt. Man hätte wähnen können, es habe sich im Rheine eine flache Insel erhoben, um welche im Kreise das Wasser ausspritzte. — Die Menge des aufgezogenen Wassers und die Höhe, welche es erreichte, wuchs mit dem Fortschreiten. Anfangs sah man das gegenüberliegende Rheinufer durch die Wasserkrone, was später nicht mehr möglich war. Sie ging bei ihrem Ueberschreiten des Rheins in großer Nähe zwischen zwei Dampfschiffen hindurch, berührte aber keine Gegenstände, an denen sie ihre Kraft hätte beweisen können. Dem linken Ufer nahe war die Krone schon in eine 40 bis 50 Fuß hohe Wassersäule verwandelt. — Jetzt begann in der Au gegen SSO. unter einer Erhebung von 45° bis 50° über dem Horizonte eine gelblichweiße Wolkenspitze sichtbar zu werden. Sie hatte die Gestalt eines umgekehrten, etwas schief nach Ost gerichteten Kegels, dessen Vast wie ein Nagelkopf geformt war *), und hob sich leuchtend ab von graublauen Wetterwolken. — Auf dem linken Ufer angelangt, riß der Wirbel eine unermessliche Staubmasse empor, aus welcher er eine Säule bildete, die, obgleich ferner, doch den Gipfel des Drachensfelsens (850 par. F. über dem Rheinspiegel) weit an Höhe überragte. Der Zusammenhang zwischen dem Sandwirbel und der gelblichweißen Wolkenspitze trat jetzt klar hervor. Diese verlängerte sich nämlich nach unten so schnell, daß man mit dem Auge die Bewegung verfolgen konnte. Auf dunklem Himmel erschien sie wie ein glänzender Degen. Die Spitze der aufstrebenden Sandsäule und der degenförmigen Wolke waren gerade auf einander gerichtet und strebten sich zu vereinigen. So schritt diese Wettersäule, sich nur wenig vom Strome entfernt haltend, schnell hinab, gerade auf die Aue zu. Ihre Gewalt wuchs; sie nahm eine schreckende Gestalt an. Der wirbelnde Fuß der Säule war hier dem Beobachter durch vorliegende Häuser verdeckt. Bevor sie indeß die Häuser erreichte, hielt sie in ihrer Bewegung gegen Nord inne, drehte sich in der Richtung des Sonnenlaufs und schritt zurück. Trotz der scheinbar drohenden Nähe blieb der Wirbel doch noch 500 Ruthen von der Aue entfernt. Zum zweiten Male sprang der Wirbel aus Wasser mit ungleich größerer Gewalt als das erste Mal. Die getroffene Stelle verwandelte sich sogleich in eine weiße Schaummasse, das Wasser schien hoch aufzusteden, eine Wolke vom feinsten Wasserstaube lagerte darauf. Mit einem Male erhob sich aus dem wogenden Schaume eine Masse von Wasser und Wasserdunst fast senkrecht, ein wenig nach rechts geneigt. Sie theilte sich alsbald in drei Strahlen, welche mit einander parallel und einander nahe aufwärts strebten. Der mittlere Strahl sprang hoch über die beiden seitlichen empor, und näherte sich mehr und mehr der weißen degenförmigen Wolke; die beiden seitlichen Strahlen schienen sich nun in je zwei zu zertheilen, so daß nun fünf erblickt wurden. Der mittlere stieg immer höher, der sich herabsenkenden Wolkenspitze zu. Beide vereinigten sich; so wurde das Wasser aus dem Strome in die Wolken gezogen, welche viel höher

*) So beschreibt und zeichnet auch Wessel die von ihm zu Schwedt am 30. Mai 1850 beobachtete Wasserhose, vergl. Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 455.

als der Drachensfels schwebten. Der mit der Wolke sich verbindende Strahl schien fast in seiner ganzen Länge eine gleiche Breite zu besitzen; nur dort, wo er im Gewölk verschwamm, erschien er etwas mächtiger. Diese Wasserhose neigte sich anfangs etwas von West gegen Ost. Bald richtete sie sich senkrecht empor, und überschritt so den Strom. In jedem Augenblicke veränderte sie ihre Gestalt. Die beiden Nebenstrahlen jederseits des Hauptstrahls verbanden sich zu je einem. Einige Minuten lang hatte die Wassersäule die auffallendste Aehnlichkeit mit einem gothischen Thurme. Senkrecht erhob er sich wie Silber glänzend und berührte mit seiner Spitze die Wolken. Darauf verengte sich die Wassersäule an ihrem Fuße, wo sie auf der wirbelnden und kochenden Wasserflaummasse ruhte. An der Stelle, wo diese Zusammenziehung stattfand, befand sich im Rhein eine Untiefe, welche zur Zeit des Ereignisses nur 1 bis 2 Fuß Wasser besaß. Es war also nicht Wasser genug im Strome, um die Wassersäule zu unterhalten. Nun vereinigten sich alle Strahlen, die Einschnürung verschwand und wie ein Riesenscheitel schwebte die Gestalt auf dem Rheine. Sie bewegte sich gegen Rhöndorf und erreichte das rechte Ufer etwa 30 Ruthen unterhalb der Rhöndorfer Fähre. Hier löste sich die Schaumsäule vom Stromspiegel ab. Die schwereren Wassertheile fielen wie niederhangende Regen von der aufsteigenden Schaummasse herunter und über das Ufer weg, während der Schaum zu den Wolken gezogen wurde. Zum dritten Male auf seinem Wege rührte der Wind Staub und Sand empor. Die dunkle Masse stieg der weißen Schaumsäule nach; obgleich sie sich berührten, waren beide Theile scharf durch eine horizontale Linie geschieden. Während die Schaummasse gänzlich in den Wolken verschwand und der Staub folgte, schritt die Wettersäule vor Rhöndorf hin, auf den südlichen Fuß des Drachensfelsens zu. Sie erreichte ihn nicht, ihre Gewalt nahm ab. Endlich verschwand für den Beobachter in der Au alles unter dem wolkenbruchartig herabstürzenden Regen, dem Hagelkörner beigemengt waren. Das Wetter kam von Süd. Das ganze Wirbelphänomen dauerte etwa 35 Minuten. Von einem Dache, welches der Wirbel traf, wurden gegen 400 Ziegel herunter und einige davon bis 300 Schritte weit fortgeschleudert. Starke Aeste wurden von den Bäumen gerissen und nebst Laken, welche zum Bleichen ausgebreitet waren, weit in den Rhein getragen. Einige größere Schiffe wurden von dem Wirbel, welcher dicht bei ihnen noch auf dem Ufer forschritt, nicht betroffen. Die Wasserkrone drehte sich im Sinne des Sonnenlaufes, auch die dreimalige Wendung des Gesamtwirbels erfolgte in diesem Sinne. Auf der linken Rheinseite war die Bahn überall durch niedergedrückte Saaten bezeichnet. Die Breite der Bahn mochte 50 Schritte betragen, wo sie aber die Curve beschrieb, wuchs ihre Breite auf das Doppelte und Dreifache. Nur in der Mitte lagen die Halme in der Richtung des Zuges, an den Seiten mehr der Mitte zugewandt. Hieraus dürfte man vielleicht auf eine Luftverdünnung im Innern des Zuges schließen, worauf auch die schiffsförmige Erhebung im Innern der Wasserkrone deutet. Auch auf der rechten Rheinseite lagen die umgeknickten Halme nach derselben Regel, wie auf der linken. Vom Drachensfels beobachtete man, daß schließlich die Säule sich vom Boden abhob und die aufgewirbelten Stoffe nun in den oberen, trichterförmig gestalteten Theil der Trombe aufgezogen wurden. Die herabhängende Spitze des Trichters blieb hinter der gegen Ost fort- und aufstrebenden Basis zurück. Die Länge der ganzen von der Wettersäule durchlaufenen Bahn beträgt 1300 Ruthen. Da die Dauer 35 Minuten betrug, so legte sie

in 1 Minute 37,1 Ruthen zurück, was beinahe $7\frac{1}{2}$ Fuß Geschwindigkeit in 1 Sec. ausmacht.

Kämpf macht die Bemerkung, daß die Wasserhosen nicht allenthalben auf dem Meere gleich häufig erscheinen. Auf der Mitte der Aequatorialmeere sollen sie nur da auftreten, wo der Passat nicht regelmäßig weht. In den niederen Breiten erscheinen sie auf dem hohen Meere nur in der Region der Calmen, wo entweder Windstillen sind, oder veränderliche Winde wehen. Am häufigsten kommen sie in der Nähe des Landes vor, wo Winde und Temperaturen unbeständig sind. Sie scheinen sich vorzüglich in der Nähe hoher und steiler Küsten zu zeigen. Man findet sie besonders an der Küste von Guinea, in der Straße von Malacca, im mittelländischen Meere und im rothen Meere; auch im Canale und im finnischen Meere hat man sie häufig beobachtet. Wie auch die oben angeführten Beispiele bestätigen, so sind die Wasserhosen nach Horner *) niemals Wirkung eines allgemeinen Windes, sondern es herrscht vielmehr rings um sie her Windstille, und aus der Trombe selbst stürzt der Wind nach allen Richtungen hervor. Nach ebendenselben sind sie allezeit von örtlichen Gewittern oder mindestens elektrischen Erscheinungen begleitet, erscheinen aber nie bei ausgedehnten Gewittern. Ferner behauptet derselbe, daß sie bald von oben aus den Wolken, bald von unten aus dem Wasser entstehen. Den Durchmesser giebt er von 2 bis 200 Fuß, die Höhe von 30 bis 1500 Fuß an.

Es steht thatsächlich fest, daß man es bei den Wettersäulen mit einem Wirbel zu thun hat. Hieraus ist klar, daß, wenn eine solche Bewegung über der Oberfläche von Seen und Meeren entsteht, die Aufsaugung so groß muß werden können, daß dadurch Wasser zu bedeutender Höhe gehoben wird und eine Wasserhose entsteht; stellt sich dagegen das Phänomen über dem Erdboden ein, so giebt sie zu den Windhosen Anlaß, die mehr oder weniger schwere Körper emporheben, Bäume ausreißen u. s. w. Die Frage ist aber: Wie entstehen diese Wirbel? Kämpf äußert sich in dieser Beziehung auf folgende Weise. „Es scheint mir im hohen Grade wahrscheinlich, daß die meisten Wasserhosen dadurch entstehen, daß Luftströme in den oberen Regionen der Atmosphäre auf einander treffen, und daß bereits hier die Ursache der wirbelnden Bewegung liege. Sind diese Luftströme heftig, ihre Temperatur und ihr Dampfgehalt sehr verschieden, so wird der Dampf mit Schnelligkeit condensirt. Während aber bei den gewöhnlichen Wirbeln die leichten Körper in die Höhe steigen, werden hier die Dampfbläschen von oben nach unten geführt, wobei die Masse von der Wolke aus gegen die Erde an Dichte abnimmt. Hierbei bleibt die Frage noch unentschieden, ob wirklich ein Herabführen von Nebelbläschen stattfindet, oder ob nicht vielmehr die Condensation auch in der Tiefe fortdauert, dergestalt, daß das Herabsinken nur scheinbar ist. Endlich erreicht der Wirbelwind die Oberfläche des Meeres, dieses wird unruhig, es erhebt sich zu Tropfen gepeitscht und hat ganz das Ansehen eines rauchenden Ofens. Indem sich von oben die Wolke senkt, von unten das Meer erhebt, vereinigen sich endlich beide, und es findet eine Verbindung zwischen Wolke und Meer statt. Schon Dampier, welcher viele Wasserhosen beobachtete, bemerkt, daß die Säule unter der Wolke hänge, und ihre Dichte geringer werde, je näher sie dem Meere komme.

*) Gilbert's Ann. Bd. LXXIII. S. 95.

Wenn dann aber die Meeressfläche unruhig wird, so seht man das Wasser schäumen, und sich in einem Raume von 100 Schritten im Umfange lebhaft kräuseln, bis daß die kräuselnde Bewegung zunimmt, da es sich alsdann in einer Säulengestalt von ungefähr 100 Schritten an ihrer Grundfläche erhebt, welche aber ebenfalls im Aufsteigen dünner wird, dergestalt, daß die ganze Wasserhose an beiden Enden am dicksten, in der Mitte aber am dünnsten ist. Während dieses Vorganges wird die Wolke stets dichter und dunkler. Einen ähnlichen Vorgang erzählt Gold en in einem Briefe an Franklin. Auf einer Reise nach Westindien sah er eine Wasserhose in der Entfernung von 30 bis 40 Ruthen von dem Schiffe. Sie hatte die Gestalt eines umgekehrten Kegels, dessen Paß in dem dicken schwarzen Gewölk lag, und dessen Spitze etwa 8 Fuß von der Oberfläche des Meeres entfernt war. Bei dem ruhigen Wetter ging die Wasserhose langsam bei dem Schiffe vorbei, aus ihr kam ein heftiger Windstrom, welcher ein Loch von etwa 6 Fuß Durchmesser auf der Oberfläche machte, und das Wasser wie eine freisförmige Kasse um diese Vertiefung hob. Eben dieser Beobachter sah auf derselben Reise noch mehrere solcher Erscheinungen, keine aber erreichte die Oberfläche des Meeres. Eben dieses Herabsinken der Wasserhose erwähnen Buchanan, Maxwell und Andere.* Dafür, daß das Wasser bei einer Wasserhose nicht aus dem Meere (wenigstens nicht unmittelbar, wohl aber in Dunst umgewandelt), sondern vielmehr aus der Wolke komme, spricht der bemerkenswerthe Umstand, daß wenn ein Schiff von einer Wasserhose überschüttet wird, die neben demselben oder über dasselbe hingehet, das zurückbleibende Wasser stets von süßem Geschmack ist. Franklin hat in dieser Beziehung viele Erkundigungen eingezogen, und nur ein Mal von einem salzigen Regen gehört. Nach Horner giebt es aber auch Wasserhosen, welche von unten ihren Ursprung nehmen. Dampier bemerkte eine Wasserhose, die schnell gegen das Schiff kam, sie hob das Wasser in Gestalt einer Säule 6 bis 7 Fuß kräuselnd in die Höhe. Da er keine Wolke über ihr sah, so glaubte er, daß sie ihre Kraft bald verlieren würde. In 4 bis 5 Minuten kam sie bis auf die Länge eines Kabeltaues an dem Schiff vorbei. Dann sah er einen langen blaffen Strom, der die Breite eines Regenbogens hatte, und über dem Wasserwirbel herabstiege. Das obere Ende desselben schien ungemein hoch zu sein und kam aus einer dunkeln Wolke herab. Diese Erscheinung kam ihm um so befremdender vor, da er bis dahin dergleichen noch nicht gesehen hatte. Eine ähnliche Thatsache erzählt Buchanan. In der Nähe des Aequators bemerkte er eine Art von Wolke an der Oberfläche des Meeres, über welcher eine dunkle Wolke hing. Später kam ein Stück einer Säule aus der Wolke, welches nach einiger Zeit wieder verschwand; eine halbe Stunde später erschien die Säule aufs Neue, es hatte sich ein cylindrischer Stamm gebildet, welchen der Wind ein wenig nach Norden krümmte, erst nach einiger Zeit vereinigten sich beide. Ebenso bemerkte Wolke*) auf dem stürmischen Meerbusen eine große Wasserhose, welche über das Schiff wegging. Viele kleinere und größere Wassermassen tanzten um die Hose her, erhoben sich zugespitzt 12 bis 16 Fuß hoch und sanken, während andere stiegen, wieder herunter. Eine leichte Wolke von Dünsten schwebte über den tanzenden Spitzsäulen und um sie herum. Die aufwärts steigende Bewegung sah auch Dampier.

*) Gilbert's Ann. Bd. X. S. 482.

Es fehlt noch viel, ehe eine vollständige Lösung des Problems aufgestellt werden kann. Es würde nöthig sein, über den Druck und die Temperatur der Luft am Boden und in verschiedenen Höhen, über die Richtung der Luftströme in den verschiedenen Schichten, ferner über den Dampfgehalt der Atmosphäre vor, während und nach der Erscheinung die gehörigen Angaben zu haben. Nach derartigen Angaben sucht man indessen meistens vergeblich in den Beschreibungen. Es wird daher nur historisch erwähnt, daß man namentlich auch zur Elektricität seine Zuflucht genommen hatte. Bel tier führt 30 Autoritäten auf, unter denen 19 die Ursache in der Luftbewegung, 8 in der Elektricität, 2 in unterirdischen Aufbrausungen finden, und einer die Erscheinungen nur für einen heftigen Platzregen hält. In Betreff der Elektricität erscheint namentlich zu beachten, daß, wie bereits im Art. Gewitter Bd. III. S. 600 hervorgehoben worden ist, diese nicht die Ursache, sondern eine Folge der Condensation der Dünste ist. Wollte man allenthalben da, wo Spiralbewegungen vorkommen, an elektrische Kräfte denken, so würde man wohl gar auch bei dem Tone in Pfeifen zu solchen seine Zuflucht nehmen müssen, da dieser durch eine Schraubenbewegung der Luftsäule erzeugt wird (s. Art. Ton, Bd. VI. S. 409 u. 410), was doch nicht leicht Jemanden in den Sinn kommen möchte. Nicht viel besser scheint jedoch die Beziehung in vielen Fällen gewesen zu sein, wo man bei den Tromben in der Elektricität die Ursache gesucht hat. Zu vergleichen ist übrigens noch besonders Art. Wind, wo dieselbe Frage in Betreff der als Wirbelwinde erkannten Stürme zur Sprache kommt.

Auf die Art von Tromben, welche von Reisenden in den asiatischen und afrikanischen Wüsten häufig wahrgenommen worden, und die sich als Sandhoien oder Erdtromben herausstellen, sei schließlich noch aufmerksam gemacht. Man nimmt die Erscheinung zuerst am Boden wahr, und zwar treten sie an windstillen Tagen auf, an denen die Sonne den Boden mit besonders großer Kraft erhitzt. Bruce beschreibt die Trombe, welche er in der nubischen Wüste erlebte, auf folgende Weise: „In der weiten wüsten Ebene von Westen nach Nordwesten sahen wir in gewissen Entfernungen eine Anzahl erstaunlich hoher Säulen von Sand, die sich bald sehr hurtig bewegten, bald mit majestätischer Langsamkeit vorrückten. Zuweilen dachten wir, sie würden uns in wenig Minuten überschütten, und es flogen auch dann und wann kleine Quantitäten Sand zu uns; bald zogen sie sich wieder zurück und kamen uns fast ganz aus dem Gesichte.“ Wenn hier die Bewegung vom Boden anzufangen scheint, so ist dies jedoch noch kein Beweis, daß sie vom Boden anfangen müsse; denn wo keine Dämpfe condensirt werden, fehlt es so lange an dem Mittel, diese Bewegung zu erkennen, bis der in die Höhe gehobene Sand diese anzeigt. Nach der Ansicht von Rams erzeugen in diesem Falle aufsteigende heiße Luftströme ein labiles Gleichgewicht der Atmosphäre, kalte stürzen später in die Tiefe und geben Gelegenheit zur Entstehung dieser Wirbelwinde. Daher sind die Erdtromben in jenen Gegenden besonders an solchen Tagen häufig, wo der Samum weht. H. G.

Wasserrad ist eine Radwelle, welche durch die Kraft des Wassers, nämlich durch das Gewicht desselben oder durch die demselben inwohnende lebendige Kraft, in welchem Falle das Wasser stoßend oder auch drückend wirkt, oder durch Beides — Gewicht und lebendige Kraft — zugleich in Bewegung gesetzt wird. Wenn die Welle horizontal, also die darauf senkrecht stehende Radfläche vertical ist, so nennt man das Wasserrad ein verticales, während bei verticaler Lage der Welle das

Rad ein horizontales heißt. Bei den verticalen Wasserrädern unterscheidet man oberflächige, mittelschlägige und unterflächige. Die erstere Art wird vorzugsweise durch das Gewicht des Wassers bewegt, indem dasselbe in Zellen fällt, welche auf dem Radumfang befestigt sind; bei der zweiten Art wirkt das Wasser durch sein Gewicht und durch den Stoß auf die im Radumfang stehenden Schaufeln, und bei der dritten Art vorzugsweise durch den Stoß auf ebenfalls im Radumfang angebrachte Schaufeln. Wegen des Näheren der Construction dieser Räder und ihrer Leistungen müssen wir auf rein technische Schriften hinweisen, z. B. auf das Lehrbuch der Ingenieur- und Maschinen-Mechanik von J. Weissbach, Th. II. Vergl. auch bez. der Leist. dieser Räder Art. Mechanik der Flüssigk. Bd. IV. S. 955. 960 ff.

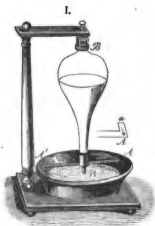
Bei den horizontalen Wasserrädern wirkt das Wasser nie unmittelbar durch sein Gewicht, sondern entweder durch Reaction, oder Druck, oder Stoß, weshalb man auch horizontale Reactions-, Druck- und Stoßräder unterscheidet.

Im Art. Statik, Bd. VI. S. 90 ist nachgewiesen, daß der Druck, welchen eine in einem Gefäße eingeschlossene Flüssigkeit nach irgend einer Richtung auf eine Fläche des Gefäßes ausübt, gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule ist, welche die Projection der Fläche, senkrecht auf die verlangte Richtung, zur Grundfläche und die Tiefe des Schwerpunktes der Fläche unter dem Niveau zur Höhe hat. Damit ist auch erwiesen, daß gleich tief unter dem Niveau liegende Flächen, wenn ihre Projectionen gleich sind, einen gleich großen Druck erleiden, also daß auch in derselben horizontalen Ebene einander senkrecht gegenüberliegende Stellen der Gefäßwand einen gleichen, aber entgegengesetzten Druck auszuhalten haben. Denken wir uns nun ein mit Flüssigkeit gefülltes Gefäß an einem Faden aufgehängt und öffnen wir, nachdem dasselbe zur Ruhe gekommen ist, irgend eine unter dem Niveau liegende Stelle, so daß die Flüssigkeit ausfließen kann; so wird das Gefäß aus seiner Ruhelage herausgedrängt werden und zwar entgegengesetzt der Richtung, in welcher die Flüssigkeit ausströmt, weil nun der Druck an der Stelle, welche der Oeffnung diametral, d. h. senkrecht auf die Oeffnung, gegenüberliegt, nicht mehr durch den entgegengesetzten Druck, welcher an der noch geschlossenen Oeffnung stattfand, aufgehoben wird. Es ist dies das Princip der Reaction oder Rückwirkung, welches auch für luftförmige Flüssigkeiten gilt, und auf dem z. B. das Zurückprallen der Kanonen, nachdem sie abgeschossen sind, und das Steigen der Raketen beruht. Dasselbe Princip findet nun zur Bewegung der sogenannten horizontalen Reactionsräder Anwendung, deren gemeinsamer Ausgangspunkt das sogenannte Segner'sche Rad ist. Gehen wir jedoch auf dasselbe näher ein, wird es nöthig sein, die Stärke der Reaction zu bestimmen.

Nach Art. Ausfluß, Bd. I. S. 624 ist die Ausflußgeschwindigkeit einer Flüssigkeit derjenigen Geschwindigkeit gleich, welche ein im luftleeren Raume frei fallender Körper erreichen würde, wenn er vom Spiegel der Flüssigkeit bis zur Ausflußöffnung herabfiel. Diese Ausflußgeschwindigkeit ist jedoch nicht das Maß für die Reaction, sondern hier handelt es sich um die Wirkung des Stoßes, welcher dabei eintritt. Art. Mechanik der Flüssigkeiten, Bd. IV. S. 956 und 957 kommt mithin hier in Betracht, und die Stärke der Reaction wird demnach gemessen durch das Gewicht einer Wassersäule, welche den Querschnitt der Oeffnung zur Grundfläche und die doppelte Geschwindigkeitshöhe zur Höhe

hat. (Vergl. Bd. IV. S. 974). Historisch ist zu bemerken, daß Johann Bernoulli*) zuerst die auf diesen Punkt bezügliche wissenschaftliche Erörterung geliefert hat.

Das Segner'sche Wasserrad**) besteht, wie bestehende Fig. I. zeigt, im Wesentlichen aus einem oder mehreren Paaren horizontaler Röhren A A', welche in die gemeinschaftliche hohle Ase B B münden und an dem Ende eine in derselben Umdrehungsrichtung liegende Oeffnung a haben, durch welche das Wasser ausfließt. Die Zuführung des Wassers geschieht entweder von oben her durch die Ase, oder besser von unten durch eine besondere Röhrenleitung. Durch die Reaction erhalten die Röhren B A und B A' eine der Ausflußrichtung entgegengesetzte Drehung um die Ase B B. Zweckmäßig ist es die Röhren B A bei B oder wenigstens das Ende A a drehbar zu machen. Stellt man beide Oeffnungen in entgegengesetzte Drehungsrichtung, so steht die Maschine still; stellt man dieselben entgegengesetzt der zuerst angenommenen, so erfolgt die Bewegung im entgegengesetzten Sinne.



In Betreff einer Anwendung dieses Princips zur Fortbewegung der Schiffe vergl. Art. Schiff, Bd. V. S. 733.

Segner hat diese Maschine zum Betriebe einer Mühle in Vorschlag gebracht; bekannter ist aber die später (?) von Barker veröffentlichte Construction geworden***). Die Einrichtung einer Reactionsmühle wird aus bestehender Fig. II. klar werden. Die verticale Metallröhre B C endet oben in einem Trichter, in welchen das Rohr F G fortwährend Wasser führt. Bei B steht die in einem

*) Hydraulica ed. 1732 und in Opp. T. IV.

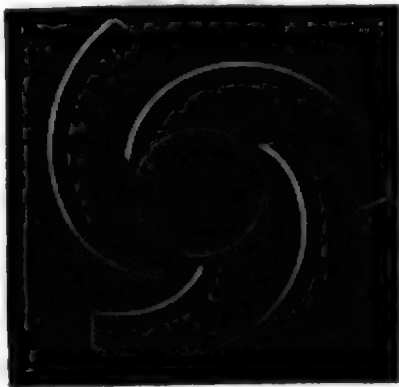
**) Machinae cujusd. hydraulicae theoria geom. u. Computatio formae atque viciu mach. hydraul. nuper descriptae. Gott. 1750.

***) Transact. of the Americ. Phil. Soc. T. III. p. 183. Philadelph. 1775. Vergl. Course of experimental philosophy by Desagulier. Vol. II. London 1745.

Zapfen auslaufende Röhre auf einem conischen Zapfenlager, ihre Axe aber D E trägt entweder unmittelbar den oberen Mühlstein, den sogenannten Läufer, oder ein Rad, durch welches die Bewegung, welche durch die Reaction des bei A und A' ausströmenden Wassers hervorgerufen wird, beliebig fortgepflanzt und übergetragen werden kann. Letztere Einrichtung verdient jedenfalls den Vorzug, da es dann nicht nöthig ist, der Röhre B C selbst die große Geschwindigkeit zu ertheilen, welche der Mühlstein erhalten muß; ebenso ist es vortheilhafter das Treibwasser nicht oben in einen Trichter einfallen zu lassen, sondern unten bei B einzuführen, weil man dann eine viel größere Druckhöhe benutzen kann. Die dann zu treffende Einrichtung besteht einfach darin, daß das Einfallrohr vertical aufwärts gebogen und die mit den Reactionsarmlen versehene Axe drehbar aufgesetzt wird, so daß das aufwärtsgebogene Ende des Einfallrohres gewissermaßen als Zapfenlager dient.

Ueber die Theorie des Segner'schen Rades haben namentlich L. Euler*), Kraft**) und J. A. Euler***) die erforderlichen Untersuchungen angestellt. Es ergiebt sich hierbei, daß die Maschine die größte Leistung liefern würde, wenn ihr eine unendlich große Umfangsgeschwindigkeit ertheilt werden könnte. Da dies nicht zu erreichen ist, so erklärt es sich, warum die Wirkung dieser Maschinen z. B. in Vergleich zu der eines von demselben Wasser getriebenen überschlägigen Rades so gering ist; denn man hat stellenweis nur den dritten Theil dieser Leistung gefunden.

Abänderungen der Barker'schen Mühle sind mehrfach versucht worden. Mannoury d'Ecot****) ließ das Wasser aus drei gekrümmten Schwung-



röhrenaustreten, wie nebenstehende Figur im Grundriss zeigt. Whitelaw und Stirrat verbesserten diese Einrichtung noch dadurch, daß sie eine Vorrichtung anbrachten, durch welche sie die Ausflußmündungen erweitern oder verengern und somit den Ausfluß des Wassers reguliren konnten*****). Combes vermehrte die Zahl der Ausflußröhren noch mehr, ja seine Reactionsmaschine bestand eigentlich aus einem oben und unten geschlossenen horizontalen Rade, an dessen Umfange eine Ausflußöffnung an die andere stieß, indem er das Innere

des Rades durch Scheidewände in gekrümmte Canäle theilte.

An die Reactionräder schließen sich die Druckräder unmittelbar an, indem man dieselben als eine Umkehrung jener ansehen könnte. Es heißen dieselben gewöhnlich Turbinen oder Kreiselräder, und auch das

*) Mémoire de l'Acad. de Berlin 1780 p. 311 und 1784 p. 227; vergl. auch Nov. Comm. Petrop. T. VI p. 312.

**) Nov. Act. Acad. Petrop. T. X. p. 137.

***). In einer von der Göttinger Societät 1784 gekrönten Schrift.

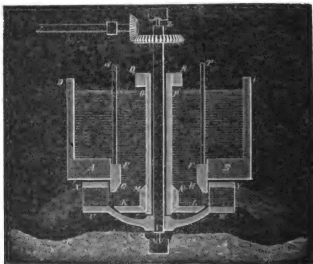
****) Gilbert's Ann. Bd. XLIII. S. 166. Journ. des Mines 1813. T. XXXIII. Moniteur 1813 Janv.

*****). Dingler's polytechn. Journ. Bd. LXXXVIII. Polytechn. Centralblatt, Bd. II. Jahrg. 1843.

Whitelaw'sche Reactionrad ist unter dem Namen der schottischen Turbine bekannter.

Die Turbinen beruhen darauf, daß das Wasser, welches aus der Oeffnung eines Wasserbehälters ausfließt, eine Geschwindigkeit besitzt, welche mit dem an dieser Stelle, wenn dieselbe geschlossen wäre, stattfindenden Drucke im Verhältnisse steht, also im Verhältnisse der Quadratwurzel aus der Druckhöhe. Wäre nun der Ausflußöffnung gegenüber ein Hinderniß, z. B. eine schräg stehende Platte, so würde diese von der sie treffenden ausströmenden Flüssigkeit einen Druck erleiden und durch denselben sogar zur Seite gedrängt werden können.

Bournehyron^{*)} gebührt das Verdienst, dies Princip zuerst zur Anerkennung gebracht zu haben. Von der Einrichtung seiner Maschine giebt beigelegter Durchschnitt eine Anschauung. A B C D ist das Aufschlagerinne, in dessen Boden eine cylindrische Oeffnung mit einem büchsenförmigen Fortsatze E F angebracht ist.



Unter dem letzteren liegt in einiger Entfernung der kreisrunde Boden K L, zwischen welchem und der Büchse eine durchweg gleichhohe cylindrische Spalte gebildet wird. Der Boden ist mittelst der Büchse M N an der Röhre O P befestigt, welche oberhalb von zwei horizontalen Balken Q R gehalten wird. Um die cylindrische Spalte der disponiblen Wassermenge gemäß erweitern oder verengen zu können, ist die cylindrische Büchse E F G H wie eine Schüge durch die Stangen S und T auf- und abbewegbar. Außerhalb der Spalte liegt ein horizontales Rad U V W X Y, welches um die Welle V Z drehbar ist, während das Aufschlagerinne mit seinen übrigen Theilen fest steht. Das Rad besteht aus zwei horizontalen Ringen X Y

^{*)} Dingler's polytechn. Journ. Bd. LIII. Bulletin de la Société d'encouragement. 1834.

und UW; der letztere befindet sich aber an der gewölbten Bodenplatte UVW. Die Welle VZ ruht bei V auf einem Zapfen, geht durch das Rohr MOPN hindurch und trägt oben ein Rad, durch welches die Bewegung derselben beliebig fortgepflanzt werden kann. Zwischen den beiden Radringen XY und UW sind Schaufeln angebracht, auf welche das aus der cylindrischen Spalte entströmende Wasser wirkt, und das Innere des über dem Boden KL befindlichen Cylinders ist durch Leitcurven in so viel Abtheilungen getheilt, als das horizontale Rad Schaufeln trägt.

Um von dieser inneren Einrichtung eine genauere Anschauung zu geben, fügen wir noch eine besondere Figur bei. A, A sind die Schaufeln des horizon-



talen Rades, LL die gekrümmten Canäle im Innern auf dem Boden des feststehenden Cylinders, an ihrem peripherischen Ende durch kürzere Leitcurven nochmals getheilt. Die Leitcurven sind gekrümmt und die Schaufeln desgleichen, aber in einer senkrechten Richtung zu derjenigen der Leitcurven, um dem Treibwasser eine günstige Richtung und den Schaufeln eine vortheilhaftere Stellung zum Behufe möglichst voller Wirkung zu geben.

Um möglichst hohe Gefälle zu benutzen, macht man das Ausflussservoir oben zu und leitet das Wasser durch eine Einfallröhre seitlich in dasselbe. Man nennt so eingerichtete Turbinen wohl auch Hochdruckturbinen im Gegensatz zu den Niederdruckturbinen mit oben offenem Reservoir.

Ueber das rein Technische verweisen wir auf Weissbach a. a. O., woselbst auch am Schlusse des 5. Capitels die Literatur ausschließlich beigebracht ist. Vergl. auch: Redtenbacher, über die Theorie und den Bau der Turbinen und Ventilatoren. Aus: die horizontalen Wasserräder und besonders die Turbinen oder Kreiselräder von Moritz Mühlmann, Chemnitz 1840 führen wir noch an, daß zu St. Blasien im badischen Schwarzwalde damals eine sehr kräftige Turbine in Thätigkeit war. Das Gefälle betrug 108 Meter; schon in einer Entfernung von einer halben Stunde hörte man das Getöse. Der Durchmesser des Rades war nicht größer als 316 Millimeter oder etwa 1 Fuß und die Zahl der Umgänge betrug bei 9 bis 10 Millim. Schutzöffnung 2200 bis 2300 in der Minute. In der Secunde wurde ungefähr 1 franz. Cubikfuß Wasser zugeführt, und die ganze Druckhöhe betrug 108 Meter oder 332 franz. Fuß. Das Druckwasser mußte mehr als $\frac{3}{4}$ Stunden von St. Blasien entfernt auf den umliegenden Höhen in Bächen gesammelt werden, und wurde von einem Reservoir in einer Leitung von 300 zu einem Ganzen verbundenen gußeisernen Röhren, deren jede eine Länge von 4 franz. Fuß und ungefähr 18 Zoll Durchmesser hatte, dem Rade zugeführt. Die Stärke dieser Röhren nahm von oben nach unten nur von 11 bis 13 Millim. zu. Damals trieb das Rad eine Baumwollenspinnerei mit 8000 Waterspindeln, die dazu gehörigen Vorspinnmaschinen, 36 Reiskrempeln, 34 Feinkrempeln, zwei Schlagmaschinen, einen Wolf und noch andere Nebenapparate. — In Frankreich waren Turbinen zu Roussay (Dep. der Vogesen), Mühlbach (Dep. Niederrhein),

Lépine (Dep. der Seine und Oise) und besonders zu St. Maur bei Paris, wo 4 Turbinen 40 Mahlgänge trieben. Ferner erwähnen wir eine Turbine zu Sieben in der Schweiz.

Bei der Turbine von Mousay hatte das Rad 850 Millim. äußeren Durchmesser, 110 Millim. Höhe, $7\frac{1}{2}$ Meter Gefälle und 0,738 Cubikmeter Aufschlagwasser in der Secunde. Die Maschine repräsentirte 73,8 Pferdekkräfte und gab bei 180 bis 190 Umdrehungen in der Minute das Maximum der Leistung, nämlich 69 Proc. — Die Turbine in Mühlbach hatte ein Rad von 2 Meter äußeren Durchmesser und $\frac{1}{3}$ Meter Höhe; das Gefälle betrug nur $3\frac{1}{2}$ bis $3\frac{3}{4}$ Meter, das Ausschlagwasser aber $2\frac{1}{2}$ Cubikm. in der Secunde. Die Maschine repräsentirte 117 bis 125 Pferdekkräfte und gab das Maximum der Leistung, nämlich 0,75 bis 0,78 Procent bei 50 bis 60 Umgängen in der Minute bei dem stärksten Schüßenzuge.

Bezeichnet bei einer Fourneyron'schen Turbine R' den äußeren und R_2 den inneren Halbmesser der Turbine in Fuß, Q die Wassermenge in Cubikfuß, welche in der Secunde auf das Rad fällt, H die Höhe des Gefälles, α den Winkel, unter welchem die Leitschaufeln den Radumfang schneiden, β den Winkel, welchen das erste Radischelelement mit der Peripherie bildet, v die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser in die Turbine eintritt, in Fuß per Secunde und i die Anzahl der Radischeufeln; so erhält man einen Nugeffect von 70 bis 75 Procent, wenn man 24 bis 30 Leitschaufeln und ebenso viel Radischeufeln verwendet, $\frac{R_1}{R_2} = 1,3$ bis 1,5 macht und den Radischeufeln eine Höhe in Fuß gibt, welche

gleich ist $\frac{Q}{0,9 v} \cdot \frac{1}{2 \pi R_2 \sin \alpha - \frac{i}{80}}$. Die Umdrehungsgeschwindigkeit am

äußeren Umfange der Turbine ist dann $0,707 \frac{R_1}{R_2} \cdot \sqrt{g H \frac{\sin (\alpha + \beta)}{\cos \alpha \sin \beta}}$ und

$v = \sqrt{g H \frac{\sin \beta}{\cos \alpha \cdot \sin (\alpha + \beta)}}$. Bei hohen Gefällen macht man $\alpha = 15^\circ$, bei kleineren $= 24^\circ$, und $\beta = 60^\circ$ bis 90° .

Die unvollkommensten horizontalen Räder sind die Stoßräder. An der Peripherie eines horizontalen Rades stehen unter einer Neigung von 50 bis 70 Grad gegen den Horizont rechteckige Schaufeln, auf welche das Treibwasser aus einem Gerinne, welches 20 bis 40 Grad Neigung besitzt, stürzt, so daß es die Schaufeln ziemlich senkrecht trifft. Man wendet dergleichen Räder bei einem Gefälle von 10 bis 20 Fuß an, wenn man eine große Umdrehungsgeschwindigkeit erzielen will, und finden sich dieselben als Mahlmühlen, bei denen der Räder unmittelbar an der Radwelle angebracht ist, häufig in den Alpen und Pyrenäen, desgleichen in Algier. Vorthheilhast ist es die Schaufeln muschelförmig zu machen, oder sie wenigstens mit vorstehenden Leisten einzufassen. H. G.

Wassersäulenmaschine nennt man eine Wasserhebungsmaschine, bei welcher durch den Druck einer Wassersäule der Kolben eines Cylinders in Bewegung gesetzt wird, so wie dies bei der Dampfmaschine durch den Dampf geschieht. Hat der Kolben den Weg nach oben durch den Druck des Wassers zurückgelegt, so wird die Bewe-

gung desselben nach unten dadurch bewirkt, daß die Einfallröhre, welche das Treibwasser in den Cylinder führt, abgesperrt und das Wasser, welches den Kolben vorwärts trieb, abgelassen wird, worauf der Kolben durch sein eigenes Gewicht und die an ihm befindliche Last wieder nach unten geht; gestattet man hierauf dem Treibwasser den Eintritt in den Cylinder von Neuem, so wiederholt sich das Kolbenspiel in derselben Weise. Eine solche Wassersäulenmaschine, die der atmosphärischen Dampfmaschine zu vergleichen ist, würde eine einfache wirkende sein. Es liegt nahe, ebenso wie bei der Dampfmaschine, das Treibwasser zur Hin- und Herbewegung des Kolbens, dessen Stange alsdann mittelst einer Stopfbüchse wasserdicht durch den geschlossenen Cylinder gehen muß, zu benutzen. Auf diese Weise erhält man die doppelwirkende Wassersäulenmaschine. Außerdem kann man diese Maschinen, wie die Luftpumpen, einsteifelig und zweisteifelig einrichten.

Soll eine solche Maschine kräftig wirken, so leuchtet ein, daß das Treibwasser einen bedeutenden Druck ausüben, daß also die Einfallröhre eine möglichst große verticale Höhe haben muß, da der Druck der Flüssigkeit von der Höhe derselben bedingt wird. Man bedient sich daher dieser Maschinen vorzugsweise in Bergwerken, um das Grubenwasser in den Abzugstollen zu heben oder überhaupt heraus zu schaffen.

Die erste Wassersäulenmaschine sollen 1731 Denizard und de la Duaille in Frankreich erbaut haben, indem das Wasser einer Quelle in einer 9 Fuß langen Einfallröhre auf einen Kolben wirkte, welcher dann ungefähr den zwanzigsten Theil dieses Wassers 32 Fuß höher trieb, als die Quelle selbst lag *). Der braunschweigische Artilleriemajor Winterschmidt legte 1748 in den Bergwerken des Harzes eine Wassersäulenmaschine an, die jedoch den Erwartungen nicht entsprach und deshalb wieder einging **). Dem Oberkutschmeister J. K. Höll zu Schemnitz in Ungarn gebührt das Verdienst 1749 im Leopoldi-Schachte zu Schemnitz eine brauchbare Wassersäulenmaschine ausgeführt zu haben, welche lange als Muster diente ***). Eine der vorzüglichsten Maschinen legte v. Reichenbach zur Hebung der Soofenleitung zu Illfang in Baiern an ****).

*) Recueil des machines approuvées par l'Acad. Roy. des sciences. T. V. p. 259; auch in: Architecture hydraul. par Belidor. T. II. liv. IV. §. 1787. p. 54.

**) Basse, Betrachtung der Winterschmidt- und Höll'schen Wassersäulenmaschine nebst Vorschlägen zu ihrer Verbesserung. Freiberg 1804.

***). A. Voda, kurzgefaßte Beschreibung der bei dem Bergbau zu Schemnitz errichteten Maschine. Prag 1771. Anleitung zur Bergbaukunst von Delius. Wien 1773. Schifko, Beiträge zur Bergbaukunde. Wien 1834. Hft. 2.

****). Die Soole, welche bei Berchtesgaden nicht alle versotten werden kann, wird über Berge hinweg und durch Thäler hindurch bis nach Reichenhall geleitet. Die Leitung hat eine Länge von 97281 bairischen Fuß (90464 preuß. F.), und die Soole wird auf dieser Strecke zuerst 60 Fuß, dann 311 Fuß und zum dritten Male bei Illfang 1218 Fuß in senkrechter Richtung gehoben. Von Reichenhall bis Hammer ist dann eine zweite Leitung von 72618 Fuß (67529 preuß. F.) Länge, auf welcher eine Erhebung von 44 Fuß, eine zweite von 190 F., eine dritte von 220 F., eine vierte zu Rößelgraben von 400 F., eine fünfte zu Weisbach von 125 F. und eine sechste zu Nagling von 370 Fuß vorkommen. Von hier geht eine ältere Leitung zur Saline bei Traunstein, außerdem aber eine neuere von Hammer bis Rosenheim in einer Länge von 200190 Fuß (186161 preuß. F.), auf welcher 5 Erhebungen vorkommen: 1) zu Siegsdorf 200 F., 2) zu Klaushäusel 175 F., 3) zu Bergham 200 F.,

Da die Wassersäulenmaschinen nur einen kleinen Raum einnehmen, aber einen bedeutenden Effect entwickeln, so haben sie namentlich in Bergwerken eine häufige Verwendung gefunden; wir finden solche besonders in den ungarischen Silberbergwerken, in den Bleibergwerken Kärnthens, auf dem Harze, im sächsischen Erzgebirge, in Frankreich im Depart. Finistère etc.

In dem Folgenden geben wir von einigen Wassersäulenmaschinen die verticale Höhe der Einfüllröhre H , den Durchmesser des Treibkolbens D , die Hubhöhe der Treibstange S und die Anzahl der Kolbenspiele n in 1 Minute.

Grube Pängstwiefe bei Gms $H = 60$ Fuß; $D = 1\frac{1}{8}$ Fuß; $S = 4$ Fuß; und $n = 1$.

Ebensee im österr. Salzkammergute $H = 36$ F.; $D = 9\frac{1}{2}$ Z.; $S = 17$ Z.; $n = 6$.

Segen Gottes Erbstollen zu Geroldsdorf im sächs. Erzgebirge $H = 1277\frac{1}{8}$ F.; $D = 2$ F.; $S = 9\frac{3}{4}$ F.; $n = 1\frac{5}{7}$.

Bleiberg in Kärnthn $H = 260$ F.; $D = 7$ Z.; $S = 6\frac{1}{4}$ F.; $n = 8$.

Erbstollen Kronprinz Ferdinandi-Morgenschlag zu Kreuth $H = 43$ Klafter; $D = 6$ Zoll 11 Linien; $S = 73\frac{3}{4}$ Zoll; $n = 8$.

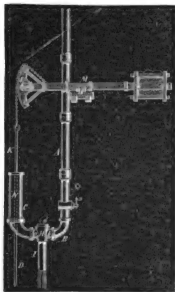
Alte Nordgrube bei Freiberg $H = 356$ F.; $D = 1\frac{1}{2}$ F.; $S = 8$ F.; $n = 8$.

Glauchthal im Harz $H = 612$ F.; $D = 16\frac{1}{2}$ Z.; $S = 6$ F.; $n = 4$.

Leopoldi-Schacht bei Schlemnitz $H = 710$ F.; $D = 11$ Z.; $S = 8$ F.; $n = 3$.

Eine genauere Kenntniß der Wassersäulenmaschinen gewährt das Handbuch der Mechanik von v. Gersner, Wien 1834. Bd. III. S. 355 ff. und das Lehrbuch der Ingenieur- und Maschinen-Mechanik von J. Weissbach Th. II.

Das Wesentliche einer einfachen und einströmigen Wassersäulenmaschine stellt beistehende Figur dar. Die Einfüllröhre A , jetzt gewöhnlich aus gußeisernen, durch Kränze verbundenen Röhrenstücken bestehend, führt mittelst einer gekrümmten Communicationsröhre B das von der Höhe hineingeleitete Oberwasser dem Stiefel C unterhalb des Kolbens

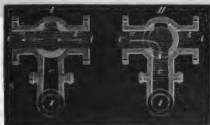


4) zu Mühlthal 180 F. und 5) zu Rosenheim 44 F. Die Gesammtlänge der Leitung beträgt somit 370089 bair. oder 344134 preuß. Fuß, d. h. über 14 geogr. Meilen und die Summe aller Hebungen 3727 bair. F. (3406 preuß. F.). Auf der Strecke von Reichenhall bis Rosenheim sind 8 Wassersäulenmaschinen, die übrigen 3 Hebewerke sind Pumpen mit Mühleisern.

N zu. Dieser Druck hebt den massiven Kolben in die Höhe, welcher mit einer Zugstange K in Verbindung steht. Diese Zugstange setzt durch geeignete Zwischenglieder die Schachstangen und Kolben der in der Tiefe liegenden Pumpen in Bewegung, oder von dem Kolben N selbst geht mittelst einer wasserdichten Stopfbüchse unmittelbar eine Schachstange nach unten ab, wie die Figur in D zeigt. Im letzteren Falle ziehen die Schachstangen und Kolben, vermöge ihres bedeutenden Gewichtes, den Kolben N herab und das Ballwasser würde nicht vermögend sein, denselben zu heben, wenn nicht die Zugstange K mittelst einer eisernen Kette mit dem Balancier M in Verbindung wäre, der am Ende seines längeren Armes so belastet ist, daß er der herabziehenden Last beinahe das Gleichgewicht zu halten vermag. Das Ballwasser braucht demnach nur eine geringe Kraft zu äußern, um den Kolben zu heben. Sobald dieses Druckwasser weggeschafft ist, sinkt der Kolben von selbst wieder herab. Statt des mechanischen Balanciers verwendet man auch sogenannte hydraulische, z. B. bei der claudthaler Maschine. Der mechanische Balancier gewährt den Vortheil, daß man durch Zulegen oder Wegnehmen seine Belastung beliebig abändern und ihn somit leicht reguliren kann.

Zuvörderst ist nun zu bemerken, daß der Durchgang der Stange durch die Stopfbüchse der Luft keinen Eingang in den Treibcylinder gestatten darf. Ferner ist die Vorkehrung getroffen, daß die Kette der Zugstange sich, während der Bewegung des Balanciers, auf das Bogenseil L, dessen Mittelpunkt in dem Bewegungspunkte O liegt, auf- und abwickelt, so daß die Zugstange K bei ihrer Bewegung die verticale Richtung nicht verläßt, sondern immer eine Tangente an den Kreisbogen bildet.

Was das abwechselnde Eintreten und Ablassen des Wassers in und aus dem Cylinder unter dem Treibkolben N betrifft, so wird dies durch einen bei H befindlichen eigenthümlichen Hahn bewirkt. Bei H ist eine nach unten zu kegelförmig gedrehte Hülse mittelst ihrer beiden kurzen Ansaßröhren a und b zwischen dem Cylinder und der Einfüllröhre befestigt. Diese Hülse ist mit ihren drei Ansaßröhren a, b und c, von denen a mit dem zu dem Cylinder führenden Rohr, b mit der Einfüllröhre und c mit dem bei J abwärtsgehenden Ausguß-



rohre in Verbindung steht, in den Figuren I. und II. im horizontalen Querschnitte abgebildet. In die Hülse paßt ein luftdicht eingeriebener kegelförmiger Hahn, wie die umstehende Figur zeigt, und von dessen Durchbohrung die Figuren I. und II. ebenfalls eine Anschauung gewähren. Eine cylinderförmige

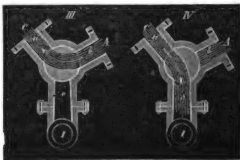
Durchbohrung von derselben Weite wie die Röhre B in der allgemeinen Figur geht quer durch den Hahn hindurch und liegt in Fig. I. in der Richtung A C,



in Fig. II. aber in der Richtung nach e hin; eine zweite cylinderförmige Durchbohrung von derselben Weite steht senkrecht zu der ersten, geht aber nicht hindurch, sondern mündet nur in die erstere. In Fig. I. liegt diese Durchbohrung entgegengekehrt von e, so daß e verschlossen bleibt, dem Wasser aber der ungehinderte Durchgang durch den Hahn von A nach C gestattet ist; in Fig. II. liegt der Hahn in einer Vierteldrehung zu der ersten Stellung mit der zweiten Durchbohrung nach C gerichtet, so daß dem Wasser bei A der

Eintritt in den Hahn verschlossen, aber dem Wasser in C der Austritt durch e nach J geöffnet ist. Soll die Maschine in Thätigkeit sein, so kommt es also nur darauf an dem Hahne jedesmal, je nachdem das Wasser der Einfallröhre in den Cylinder treten, oder das des Cylinders abfließen soll, durch eine Vierteldrehung die erforderliche Stellung zu geben.

Dem Hahne giebt man wohl auch die einfache Durchbohrung, wie dieselbe Fig. III. und IV. in den beiden Stellungen zeigen; nur müssen dann die drei



Röhren a, h und e um 120 Grad von einander abstehen. Die Zeichnungen sind nach dem Vorhergehenden an sich verständlich, und es dürfte daher nur zu bemerken sein, daß der Hahn eine Drehung von 120° erhalten muß.

Das Geschäft der Steuerung könnte man einem Arbeiter übertragen; indessen ist auch hier, wie bei den Dampfmaschinen, dieser Dienst zweckmäßiger der Maschine selbst anvertraut. Von der Weise, in der solche Steuerungssapparate angebracht werden, ist im Art. Dampfmaschine ausführlich gesprochen; wir verweisen namentlich auf Bd. II. S. 349 und auf die einfach wirkende Cornwallmaschine ebenda S. 361 *). Zu bemerken ist nur noch, daß man auch bei diesen Maschinen

*) Vergl. auch die Dampfmaschine. Ein Wegweiser in die Dampfmaschinenkunde von G m a n n. Leipzig 1838. S. 109 ff. und besonders S. 113 ff.

setzt gewöhnlich statt der Hahnsteuerung Ventil- oder Kolbensteuerung eingeführt hat, und daß man meistens eine kleine Wasseräulenmaschine, die von der Hauptmaschine gesteuert wird, als Hilfsmaschine anwendet, um die Steuerung zu leiten, während man andernfalls noch besondere Gewichte verwenden mußte, um die Steuerung im Gange zu erhalten, da das Wasser nicht so wie der Dampf durch Expansivkraft wirkt. Das Nähere hierüber enthalten die oben angeführten Werke.

Die Einrichtung einer doppelt wirkenden Wasseräulenmaschine ergibt sich aus der Einrichtung der doppelt wirkenden Pumpe. Wir verweisen deshalb auf Art. Pumpe, Bd. V. S. 503 und Fig. 1. auf S. 504. Ebenso geht die Einrichtung der zweiflügeligen Wasseräulenmaschine aus derjenigen der zweiflügeligen Luftpumpe hervor, worüber Art. Luftpumpe, Bd. IV. S. 718 ff. handelt.

Da es mit einem Kraftverluste und mit Nachtheilen für die Maschine selbst verbunden ist, wenn das Wasser der Einfallsröhre vollständig nach der Abspernung zur Ruhe kommt, so hat man in neuerer Zeit mit großem Vortheile einen Windkessel mit der Einfallsröhre in Verbindung gebracht. Namentlich bei einfach wirkenden Maschinen ist diese Einrichtung eigentlich wesentlich und unentbehrlich, während bei doppelt wirkenden Maschinen sie eher umgangen werden kann, weil bei dieser kein eigentlicher Stillstand der Bewegung des Wassers eintritt.

§. 6.

Wasserschnecke oder Wasser schraube, oder archimedische Schnecke oder Schraube ist eine Maschine, durch welche Wasser auf geringe Höhen gehoben werden soll. Ihr Erfinder soll Archimedes aus Syrakus (287 bis 212 v. Chr.) gewesen sein; doch behaupten Einige, daß sich schon die alten Ägypter dieser Maschine bedient haben sollen, um die vom Nil überschwemmten Felder nach dem Zurücktreten des Flusses in sein Ufer von dem zurückgebliebenen Wasser zu befreien.

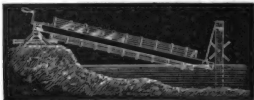
Die Wasserschnecke kann auf drei Arten construirt werden:

1) Man legt eine Röhre von Blech oder bei Modellen für physikalische Cabinette von Glas in Schraubengängen fest um eine gerade Spindel, so daß die Röhre mit der Spindel zugleich gedreht werden kann. Dies ist die eigentliche Wasserschnecke, wovon nebenstehende Figur eine Anschauung gewährt.

2) Man zeichnet auf der Oberfläche einer hölzernen Welle (Spindel) eine Schraubenlinie, befestigt dann auf dieser Linie in der Spindel schmale und dünne Spliße dergestalt dicht an einander, daß jedes einzelne Brettchen senkrecht auf der Spindelaxe steht, etwa in der Art, wie man die Stufen einer Wendeltreppe in ihre Spindel einsetzt, nur mit dem Unterschiede, daß zwischen den Stufen kein Raum offen bleibt. Diese Bretter werden in gleichen Entfernungen von der Spindel concentrisch mit derselben abgerundet, so daß der Außenrand eine Schraubenlinie bildet. Das Ganze wird nun mit einem Mantel von dünnen Brettern umkleidet, der nur unten und oben offen bleibt. Die Bretter, aus welchen der Mantel zusammengesetzt ist, sind schmale Dauben, die in der Mitte etwa einen halben Zoll stärker sind, als an den beiden Enden, um durch Antreiben von eisernen Keilen den Mantel vollständig wasserdicht zu erhalten. Eine so gestaltete



Schnecke nennt man ihrer Form wegen eine Tonnenmühle und bei ihr dreht sich der Mantel sammt der Spindel um eine gemeinschaftliche Ase. Beistehende Figur glebt von der Tonnenmühle ein Bild und veranschaulicht zugleich die Art ihrer Verwendung.



3) Man verfertigt die Schnecke wie bei der Tonnenmühle, aber der Mantel steht mit den eingelegten Brettern oder dem Schneckengange in feiner festen Verbindung. Der Mantel ist dann entweder gemauert oder von dichten Bohlen verfertigt und umgibt die Schnecke nur in ihrer unteren Hälfte, so daß derselbe nur einen Trog oder Kumm bildet. Diese Wasserschnecke, welche sich also ohne ihren Mantel dreht, heißt vorzugsweise Wassererschraube.

Läuft nur ein Schneckengang um die Spindel, so ist die Schnecke eine einfache; sind der Wänge aber zwei oder drei, so ist die Schnecke eine doppelte oder dreifache.

Die der Wasserschnecke als Wasserhebungsmaschine zu Grunde liegende Idee ist die, daß bei geneigter Lage der Spindelaxe die mit dem unteren Ende in Wasser tauchende Röhre Wasser schöpft, wenn sie mit der Oeffnung von oben nach unten in das Wasser eingreift, daß dies Wasser, sobald die Röhrenöffnung aus dem Wasser heraustritt, an der tiefsten Stelle der Windung bleibt, daß dann bei einem abermaligen Eingreifen der Röhrenmündung wiederum ein Hüllen der Röhre eintritt, daß dann geschöpfte Wasser aber von dem vorhergeschöpften durch eine Luftsicht getrennt ist, daß ferner das Wasser der ersten Füllung bereits in der zweiten Schneckenmündung sich befindet, während die erste Mündung sich von neuem füllt, und daß das zuerst geschöpfte Wasser so in immer höher liegende Schneckenwindungen treten, endlich aus der obersten ausfließen müsse, wenn die Spindel so viel Umdrehungen gemacht hat, als die Röhre Windungen zählt. Denkt man sich die Wasserschnecke mit der Spindel horizontal liegend und so tief eintauchend, daß die Spindelaxe sich im Niveau des Wassers befindet, so ergiebt sich sofort, daß sich bei jeder Umdrehung die erste Windung zur Hälfte mit Wasser füllt, daß dieses Wasser bei der zweiten Umdrehung in die zweite Windung tritt und von dem neu geschöpften Wasser durch Luft abgesperrt ist u. s. f. Dies ist der wesentliche Theil der Spiralspumpe, bei welcher die letzte Windung der spiralförmigen Röhre mit einem Steigrohre in Verbindung steht. Auch findet man derartige Einrichtungen mit horizontaler Ase in Mühlen zur Fortbewegung des Mehles, in welchen Falle der Apparat mehr der Wassererschraube gleicht.

Das Wesentliche bei der Wasserschnecke ist nun die geneigte Lage der Spindelaxe, um nicht nur eine seitliche Fortbewegung des Wassers zu erlangen, sondern gleichzeitig einen Hub, wenn auch nur auf eine geringe Höhe. Hierbei wird es

insbesondere auf den Neigungswinkel der Spindelaxe mit der horizontalen Wasserfläche und auf den Winkel, welchen die am Umfange der Spindel verzeichnete Schneckenlinie mit dem auf der Spindelaxe senkrechten Durchschnitte bildet, ankommen.

Wir müssen uns hier mit einer nur allgemeinen Darlegung begnügen, denn die Theorie der Wasserschnecke hat ihre großen Schwierigkeiten, an denen sich Dan. Bernoulli, Vitot, L. Euler, Hennert (1767), Karsten, Bellogardi, Langsdorf*) und später noch Fachette**) versucht haben.

Denken wir uns die Spindelaxe lothrecht und nehmen wir den eben bezeichneten Winkel der Schnecke $= \alpha$ an, so bildet die Schnecke eine von dem Horizonte aufsteigende schiefe Ebene, und es leuchtet ein, daß auf einer solchen kein Wasser gehoben werden kann, sondern immer wieder herablaufen müsse. — Wäre die Spindelaxe unter einem Winkel β gegen den Horizont geneigt, so daß $\alpha + \beta = 90^\circ$ wäre, so würde der Schneckengang auf seiner untersten Stelle horizontal liegen und mithin auch noch kein Heben oder Aufsteigen des Wassers möglich sein. Hieraus folgt, daß die Spindelaxe eine solche Neigung β erhalten müsse, daß $\alpha + \beta < 90$ wird; weil dann der unterste Theil der Schneckenwindung gewissermaßen einen Sack bildet, in welchem ein Theil des geschöpften Wassers gefangen bleibt, indem die nach beiden Seiten hin liegenden Theile der Windung eine höhere Lage haben, als der unterste. Hieraus ergibt sich zugleich, daß der wasserhaltende Sack um so größer werden, die Schnecke also um so mehr Wasser geben muß, je kleiner β wird, daß aber dann auch die Höhe, zu welcher das Wasser gehoben werden soll, um so mehr abnimmt. Das Verhältniß der Höhe, bis zu welcher das Wasser gehoben werden soll, ist also zur Wassermenge ein umgekehrtes.

Außerdem ergeben sich folgende Gesetze für die Wasserschnecke:

Unter allen Umständen ergiebt die Wasserschnecke das meiste Wasser, wenn sie mit ihrem unteren Ende so im Wasser liegt, daß der Wasserspiegel durch den Mittelpunkt ihrer Grundfläche geht. Je höher dieser Mittelpunkt über dem Wasserspiegel liegt, desto weniger Wasser giebt die Maschine. Durch das so tiefe Eintauchen derselben, daß der Mittelpunkt unter Wasser zu liegen kommt, wird an Wassermenge nicht gewonnen, da das, was sie anfänglich mehr aufnimmt, wieder abläuft.

Mit der Größe des Durchmesser des Cylinders und des Durchmesser der darauf gewundenen Röhre nimmt die Wassermenge im geraden Verhältnisse ab und zu.

Die Wassermenge steht bei demselben Neigungswinkel der Spindelaxe zur Horizontalen mit dem Windungswinkel der Schnecke im umgekehrten Verhältnisse.

Schließlich verweisen wir noch auf: Handbuch der Mechanik von v. Gerstner. Wien 1834. Bd. III. S. 221 ff.

Wegen der Verwendung der archimedischen Schraube zur Fortbewegung von Schiffen vergl. Art. Schiff, Bd. V. S. 729 ff. H. E.

*) Dessen Lehrbuch der Hydraulik mit beständiger Rücksicht auf die Erfahrung. Altona 1794. Bd. I. S. 557.

**) Traité élém. des Machin. Paris 1828. p. 180.

Wasserstoff oder **Hydrogengas** (von *ὕδωρ*, Wasser und *γεννάν*, ich erzeuge, weil dieses Gas beim Verbrennen Wasser liefert), ein einfacher Körper zu den Nichtmetallen gehörend. Chemisches Zeichen: H. Aequivalent: 12,48 ($O = 100$) oder 1 ($H = 1$).

Daß sich beim Auflösen von Eisen in Schwefelsäure eine Lustart entwickelt, war den älteren Chemikern lange Zeit entgangen. Paracelsus machte im 16. Jahrhundert zuerst darauf aufmerksam und 100 Jahre später entdeckte man erst, daß diese Lustart eine brennbare sei. Lemery fand 1700, daß Wasserstoffgas mit atmosphärischer Luft gemischt beim Entzünden heftig explodirt und hierdurch suchte er den Donner zu erklären. Genauer wurde jedoch das Gas nicht untersucht; bis gegen Ausgang des vorigen Jahrhunderts hielt man die bei der trockenen Destillation organischer Körper entstehenden Gase für identisch mit dem Wasserstoffgase. Erst Cavendish beschäftigte sich 1766 mit einer genaueren Untersuchung der „brennbaren Luft“, wie damals das Wasserstoffgas gemeinhin genannt wurde, und fand hierbei, daß dieselbe eine ganz eigenthümliche Lustart sei. Der jetzige Name datirt von 1787.

In der Natur kommt das Wasserstoffgas im freien Zustande nicht vor; wenigstens kann man dasselbe in der atmosphärischen Luft nicht nachweisen. Die größte Menge des Wasserstoffs ist an Sauerstoff gebunden, mit welchem es das Wasser bildet; mit Chlor und Schwefel verbunden kommt der Wasserstoff in geringer Menge in vulkanischen Gegenden vor (als Salz- und Schwefelsäure). Mit dem Stickstoff bildet er das Ammoniak und außerdem macht er einen Bestandtheil der meisten thierischen und pflanzlichen Stoffe aus.

Die Darstellung des Wasserstoffgases ist sehr mannichfaltig; aber stets bildet das Wasser die Grundlage. Man kann das Wasser durch den galvanischen Strom

in seine Bestandtheile zerlegen. Man säuert das Wasser mit einigen Tropfen Schwefelsäure an und bringt dasselbe in den Trichter des in Fig. I. abgebildeten Apparates. Dann verbindet man die beiden Drähte mit den beiden Polen des galvanischen Apparates. Das Wasserstoffgas sammelt sich in dem Cylinder an der Kathode und das Sauerstoffgas in dem an der Anode an, und zwar dem Raume nach in dem Verhältniß von 2:1. — Auch durch Natrium kann man das Wasser in seine Bestandtheile zerlegen. Man bringt ein kleines Stück des ersteren in eine

mit Wasser angefüllte Glasglocke (Fig. II.). Der Sauerstoff verbindet sich mit dem Natrium zu Natriumoxyd, das sich im Wasser auflöst, während das Wasserstoffgas sich in der Glocke ansammelt.

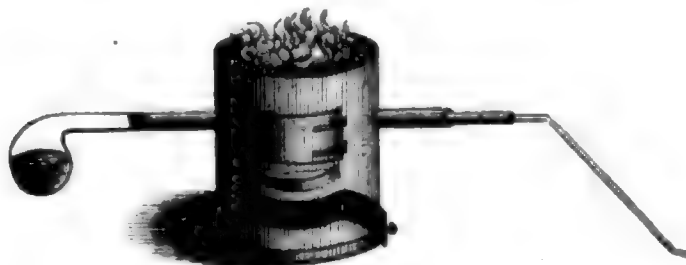
Durch Eisen und andere Metalle wird das Wasser erst in der Rothglühhitze zerlegt. Hierbei bedient man sich des in umstehender



Fig. I. abgebildeten Apparates. Das in dem Ofen liegende eiserne Rohr, gewöhnlich ein Flintenlauf, ist mit spiralförmig gewundenem Eisendraht angefüllt.

Sobald derselbe bis zur Rothgluth erhitzt worden ist, bringt man das Wasser in der Retorte zum Kochen. Kommen die Wasserdämpfe mit dem glühenden Eisen in Berührung, so werden sie zerlegt. Der Sauerstoff wird vom Eisen zurückge-

I.



halten, indem sich krystallinisches Eisenoryd und Oxidul bildet und der Wasserstoff entweicht und kann auf gewöhnliche Weise aufgefangen werden. Die Zersetzung geht nach folgender Formel vor sich: $3 \text{ Fe} + 4 \text{ HO} = \text{Fe}^3 \text{ O}^4 + 4 \text{ H}$. Soll der Versuch beendet werden, so muß man sich beeilen, um das Gasleitungsrohr aus dem Wasser der pneumatischen Wanne zu entfernen oder die Verbindung der Retorte mit dem Flintenlauf aufzuheben, denn sonst steigt das Wasser aus der Wanne in das Rohr und die Retorte zurück.

Am billigsten und leichtesten bereitet man das Wasserstoffgas durch Auflösen von Eisen oder Zink in verdünnter Schwefel- oder Salzsäure. Dies ist die ge-

II.

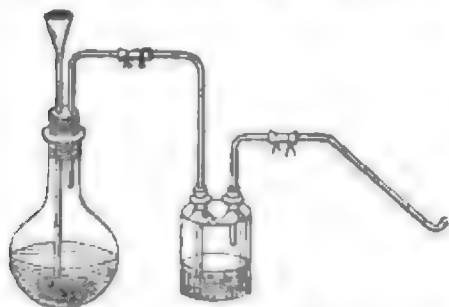


wöhnlichste Bereitungsmethode. Hierzu bedient man sich des in nebenstehender Fig. II. abgebildeten Apparates. In die Flasche bringt man Zinkabfälle oder Eisen (Nägel, Draht etc.) und verschließt diese mit einem doppelt durchbohrten Kork, der zur Aufnahme des Trichters und des Gasleitungsrohrs dient. Durch den Trichter gießt man die verdünnte Schwefel- oder Salzsäure ein und sofort beginnt die Gasentwicklung. Die Zersetzung geht hier nach folgender Formel vor sich: $\text{Zn oder Fe} + \text{SO}^2 + \text{HO} = (\text{FeO}, \text{SO}^3) \text{ oder } (\text{ZnO}, \text{SO}^3) + \text{H}$. Das zuerst fortgehende Wasserstoffgas ist natürlich mit atmosphärischer Luft gemischt. Man muß sich

daher hüten, das aus der Gasleitungsrohre entweichende Gas zu entzünden, bevor nicht die Gasentwicklung bereits eine Zeit gewährt hat, so daß man sicher sein kann, daß bereits sämtliche atmosphärische Luft aus dem Entwicklungsapparat entwichen ist. Ist man hierbei nicht vorsichtig, so kann in Folge der Explosion der ganze Apparat zertrümmert werden. Neulingen in chemischen Versuchen ist nicht dringend genug anzuerkennen, sich von der Reinheit des Gases auf folgende Weise zu überzeugen. Man fängt das entweichende Gas in einem Probirgläschen auf und entzündet es dann. Brennt es ohne Geräusch, so ist es rein; verpufft es aber, so ist es noch mit atmosphärischer Luft gemischt.

Eine Unze Zink liefert ungefähr 300 Cubitzolle Wasserstoffgas. Will man letzteres in großen Mengen darstellen, so benutzt man als Entwicklungsapparat einen Schwefelsäureballon oder ein Faß und zur Leitung bleierne Röhren. Zum Auffangen und Aufbewahren des Gases dienen dann die bekannten Gasometer.

Nimmt man zur Vereitung des Gases Zink, Eisen und Schwefelsäure, wie sie im Handel vorkommen, so erhält man ein durch verschiedene Beimengungen verunreinigtes Gas. Man erkennt dies an dem eigenthümlichen Geruch, der dem reinen Wasserstoffgase nicht angehört. Diese Verunreinigungen sind: Stickstoffoxyd- und Stickstoffoxydulgas, wenn die Schwefelsäure Salpetersäure oder andere Sauerstoffverbindungen des Stickstoffs enthält; Schwefelwasserstoff, wenn die Metalle Schwefel oder die Säure schweflige Säure enthält; Phosphor und Arsenwasserstoff, die von einer Verunreinigung der Metalle herrühren. Das letztere entsteht auch, wenn die Schwefelsäure arsenige Säure enthält. Dem mit Hülfe von Eisen bereiteten Wasserstoffgase sind außer den angeführten noch zwei andere Verunreinigungen (Kohlen- und Eisenwasserstoff) eigenthümlich. Kommt es darauf an, daß das Gas vollständig rein sei, so muß man dasselbe durch eine Wasch-



flasche (i. nebenstehende Figur) gehen lassen, um mit Hülfe verschiedener Verbindungen die Verunreinigungen zu entfernen. Stickstoffoxydgas wird durch eine Lösung von schwefelsaurem Eisenorydul absorbiert, Stickstoffoxydulgas durch Alkohol, Schwefelwasserstoff, so wie die bei der Entwicklung des Gases mechanisch mit übergerissene Säure durch Kalkmilch oder Kalilauge, Kohlenwasserstoff durch Alkohol, Arsen-, Phos-

phor- und Eisenwasserstoff durch eine Lösung von salpetersaurem Silberoryd oder Quecksilberchlorid.

Will man diese Operationen nicht vornehmen, so muß man zur Gasentwicklung reines Zink und reine Schwefelsäure verwenden. Nach *Munze* erhält man ein geruchloses Gas, wenn man Zink mit Eisen zusammen in Kalilauge auflöst. Will man ganz sicher gehen, so zerlegt man das Wasser mit Hülfe des galvanischen Stromes.

Kommt es darauf an, daß das Gas vollständig trocken sei, so leitet man es über oder durch Chlorcalcium, Kalihydrat, wasserfreie Phosphorsäure oder concentrirte Schwefelsäure, welche alle die Wasserdämpfe mit großer Energie anziehen. Man darf dann natürlich das Gas nicht über Wasser auffangen, sondern nur über Quecksilber.

Cooke hat die interessante Angabe von *Dewille* *), daß reines Zink, wenn es mit Wasser gekocht wird, letzteres in seine Bestandtheile zerlegt, bestättigt **). Leichter erfolgt diese Zersetzung durch eine granulirte Legirung von Zink (42 Proc.) mit Antimon, besonders wenn diese mit Platinchlorid behandelt und letzteres nach gehöriger Einwirkung vollständig gewaschen worden ist. Hierauf hat *Cooke* eine neue Darstellungsart des reinen Wasserstoffgases gegründet.

Im Großen stellt man das Wasserstoffgas auch dar, indem man Wasserdämpfe über glühende Kohlen leitet. Hierbei bilden sich gleichzeitig Kohlenoxydgas und Kohlenensäure. Die letztere wird durch eine Lösung von Natrium entfernt und dann leitet man das Gas über Natronkalk, der in einer eisernen Röhre zum

*) Compt. rend. Août 1854.

**) Memoir. of the Americ. Acad. Newter. Vol. V.

Glühen gebracht worden ist. Das Kohlenoxydgas wird hier durch den Sauerstoff des Hydratwassers zu Kohlensäure oxydirt, die sich mit dem Natron verbindet, während der Wasserstoff des Hydratwassers als solcher entweicht, also den Verlust an Gas ersetzt.

Das reine Wasserstoffgas ist farb- und geruchlos; es besitzt keinen Geschmack. Spec. Gewicht nach Dumas und Boussingault = 0,0691 bis 0,0695. Es ist somit der leichteste unter den in der Natur vorkommenden Körpern. Es ist ungefähr $14\frac{1}{2}$ Mal leichter als die atmosphärische Luft und 16 Mal leichter als Sauerstoffgas. Ein rheinl. Cubiffuß Wasserstoffgas wiegt nur $45\frac{1}{2}$ Gran. Wegen dieser Eigenschaft wird es zur Füllung von Luftballons gebraucht. (Vergl. d. Art. Luftball, Bd. IV. S. 669.) Bei Versuchen im Kleinen bedient man sich der aus Goldschlägerhäutchen angefertigten Luftballons. Man kann solche auch selbst aus Collodium herstellen, indem man etwas von letzterem in einen Glasballon gießt und diesen hin und her schwenkt, damit die Wände desselben ganz und gar damit gleichmäßig überzogen werden. Durch Anwendung eines Blasebalges kann man die Verlüftung des Aethers befördern. Ist die Schicht gestodnet, so löst man den fertigen Ballon vorsichtig von den Wänden ab. Beim Füllen der Ballons muß man das Wasserstoffgas trocknen. Seifenblasen mit Wasserstoffgas gefüllt steigen gleichfalls in die Luft auf. Um solche zu erhalten, drückt man eine thierische Blase sorgfältig aus, um die darin eingeschlossene Luft zu entfernen, füllt diese dann mit Wasserstoffgas und befestigt einen Hahn daran. Taucht man dann eine kurze irdene Pfeife oder ein Glasrohr, die gleichfalls mit der Blase in Verbindung stehen, in Seifenwasser und öffnet vorsichtig den Hahn, wobei man gleichzeitig die Blase drückt, um das Ausströmen des Gases zu befördern, so geht die Bildung der Seifenblasen mit Leichtigkeit vor sich. Wie man dergleichen größere Kugeln aus Harz darstellen kann, ist bereits Bd. III. S. 706 mitgetheilt worden.

Durch Anwendung eines starken Druckes hat man das Wasserstoffgas nicht zu einer Flüssigkeit verdichten können*). Das Lichtbrechungsvermögen des Wasserstoffgases ist = 6,614 und seine specifische Wärme = 3,88. Für Wasser beträgt der Absorptionscoefficient des Wasserstoffs nach Dunsen**) im Mittel 0,0193; er bleibt in den Temperaturen für 0° bis 20° constant. Ueber die Löslichkeit des Wasserstoffgases in Alkohol hat Carius Versuche angestellt***). Nach Leslie sind die Töne, welche in einer Atmosphäre von Wasserstoffgas erzeugt werden, sehr schwach und zwar schwächer als der Dichtigkeit derselben im Verhältniß zu der der atmosphärischen Luft entspricht.

Das Wasserstoffgas ist nicht geeignet das Athmen und die Verbrennung zu unterhalten. Ist es mit sehr viel atmosphärischer Luft gemischt, so kann man es ohne Beschwerden einathmen. Sperrt man dagegen ein Thier in eine Atmosphäre von Wasserstoffgas, so erstickt es sehr bald. Das Wasserstoffgas ist höchst brennbar; es entwickelt dabei eine sehr große Hitze, aber nur sehr wenig Licht. Von der intensiven Hitze, welche das Wasserstoffgas bei seiner Verbrennung entwickelt, macht man in der Technik Gebrauch. (Vergl. d. Art. Löthfen, Bd. IV. S. 657

*) Bericht d. Wien. Akad. Math. naturw. Cl. Bd. XII. S. 199.

**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIII. S. 15.

***) Ebenda Bd. XCIV. S. 131.

und Gebläse, Bd. III. S. 501). Wie man die Leuchtstärke des Wasserstoffgases verstärkt ist in den Art. Gasbeleuchtung, Bd. III. S. 481 *) und Drummondsches Licht, Bd. II. S. 562) mitgetheilt.

Ueber die Entzündung des Wasserstoffgases durch feinertheiltes Platin vergl. die Art. Absorption, Bd. I. S. 45 und Feuerzeug, Bd. III. S. 187. Nach Faraday soll das auf trockenem Wege, d. h. mittelst rothglühenden Eisens dargestellte Wasserstoffgas durch Platinschwamm nicht entzündet werden. Diese Erscheinung suchte Berzelius durch die Annahme einer Allotropie des Wasserstoffs zu erklären. Baudrimont findet aber die Annahme einer besonderen Modifikation des Wasserstoffs nicht gerechtfertigt, denn das auf die angegebene Art dargestellte Wasserstoffgas entzündete sich regelmäßig, selbst dann noch, wenn es in einer eingeschlossenen Flamme gesammelt, mit Hülfe des Aspirators über Platinschwamm geleitet wurde.

Nach Müller **) erleichtert man sich die Verbrennung des Wasserstoffs in einem eingegrenzten Sauerstoffvolumen dadurch sehr, daß man über der Flamme des entzündeten Wasserstoffstromes einen Ring mit Platinschwamm anbringt, welcher von der Tubulatur der Glocke aus vermittelst eines Drahtes oder einer Stopfbüchse nach Bedürfnis gehoben oder gesenkt werden kann, — letzteres wenn die Flamme zufällig verlöscht ist oder zu verlöschen droht. Den Wasserstoffstrom durch den Platinschwamm selbst entzünden zu wollen, ist ein gefährliches Unternehmen. Es bildet sich leicht so viel Knallgas, daß mit eintretender Entflammung eine Zertrümmerung der Glocke erfolgt.

Mischt man das Wasserstoffgas vor dem Entzünden mit atmosphärischer Luft, so erfolgt die Verbrennung mit großer Heftigkeit. Die Explosion ist um so heftiger, je mehr die in diesem Gemisch enthaltene Luft sich dem Verhältniß nähert, welches zur vollständigen Verbrennung des Wasserstoffgases erforderlich ist. Am heftigsten ist die Wirkung, wenn genau 2 R.-Th. Wasserstoffgas mit 1 R.-Th. Sauerstoffgas gemischt sind. Dieses Gemenge nennt man Knallgas oder Knallluft. Ist dagegen das eine von diesen beiden Gasen in einem großen Ueberschuß vorhanden, so ist die Entzündung mit keiner Gefahr verbunden. Man hat diese Eigenschaft des Wasserstoffgases zu einigen Verwendungen benutzt, die in den Art. Pistole, elektrische, Bd. V. S. 316 und Harmonika, Bd. III. S. 689 nachzusehen sind. Man füllt auch Seifen- und Harzblasen mit Knallgas, die beim Entzünden heftig knallen.



Das Product der Verbrennung des Wasserstoffgases ist Wasser. Will man dasselbe auffangen, so hält man ein Glas über die Flamme oder wenn man größere Mengen Wasser ansammeln will, so bedient man sich des in beistehender Figur abgebildeten Apparates. Man füllt die

*) Neuere Literatur: Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXVII. S. 429; Bd. CXL. S. 129. Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVIII. S. 391.

**) Compt. rend. T. XLI. p. 177.

***) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVII. S. 174.

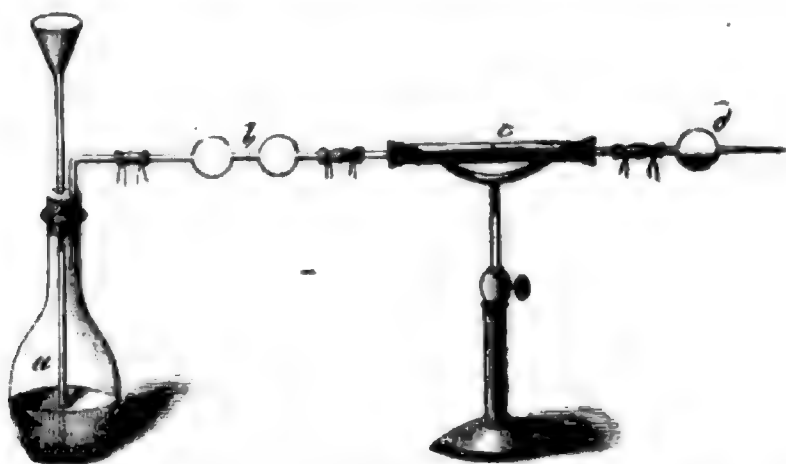
Glocke und zwar mittelst Quecksilber mit Sauerstoffgas und stürzt die Glocke dann, um während des Versuches das Eindringen der atmosphärischen Luft abzuhalten und eine Verunreinigung des Wassers zu verhindern, in ein Gefäß mit Quecksilber über die beiden aufrecht stehenden Schenkel der Glasröhren a und b. Durch a strömt das Sauerstoffgas ein und durch b das Wasserstoffgas, beide Gase werden aber vorher gut ausgetrocknet. Bevor man die Glocke aufsetzt, zündet man entweder das Wasserstoffgas an oder man befestigt der Ausströmungsöffnung gegenüber ein Stück Platinschwamm, der die Entzündung des Gases einleitet. Vor allen Dingen hat man darauf zu sehen, daß das Wasserstoffgas nur mit einer sehr kleinen Flamme brennt. Je weniger sich die Glocke erhitzt, desto besser gelingt der Versuch und desto längere Zeit kann er andauern, so daß man auf diese Weise ziemlich beträchtliche Mengen Wasser, dessen Dampf sich an den Wänden der Glocke verdichtet und in Tropfen herabrieselt, erzeugen kann.

Die Verbrennung des Wasserstoffgases in Chlor, Jod und Brom pflegen in den Vorträgen über Chemie selten gezeigt zu werden. Indessen sind diese Versuche in Verbindung mit der Verbrennung des Wasserstoffgases in Sauerstoff angesetzt, sehr lehrreich, indem sie den Vortheil gewähren, daß der Anfänger einen und denselben Körper in verschiedenen Mitteln unter gewissen Abweichungen an der äußeren Erscheinung des Lichtes und der Wärme kennen lernt; desgleichen auch die verschiedenen Verwandtschaftsgrade des Wasserstoffs zu den genannten Elementen. Nach Wussly sind die hierzu erforderlichen Vorrichtungen sehr einfach*). Man zündet das aus dem unten aufgebogenen Ende des Gasleitungsrohres entweichende Wasserstoffgas an und bringt dann die Flamme in einen mit Chlor gefüllten Cylinder, wobei man nach und nach von oben nach unten heruntersfährt. Die Flamme nimmt in diesem Gase eine weißbläuliche Flamme an, sie vergrößert sich und bald sieht man weiße Dämpfe von Salzsäure aufsteigen. Die Verbrennung dauert an, so lange Chlor genug vorhanden ist und man kann leicht zeigen, daß der Inhalt des Cylinders Lackmus stark röthet. Auf dieselbe Weise kann man Wasserstoff in Bromdampf verbrennen. Man hat nur nöthig Brom in ein Gefäß zu schütten und dieses bei einer Temperatur von 40° zu erhalten, damit sich der Bromdampf reichlich genug entwickelt. Der Wasserstoff brennt dann gleichfalls ununterbrochen fort und bildet Bromwasserstoffsäure. In Joddampf brennt der Wasserstoff indessen nicht fort. Die Flamme verändert sich zwar auch, so wie sie aus der Luft in den Joddampf gelangt, allein sie erlischt, sobald sie von der Luft vollkommen abgeschlossen worden ist. Es erzeugt sich hier nur eine Spur von Jodwasserstoffsäure.

Ein Gemisch von Sauerstoff und Wasserstoff kann lange Zeit aufbewahrt werden, ohne daß sich beide zu Wasser vereinigen. Die Entzündung dieses Gemisches kann aber schon durch einen rothglühenden Glasstab herbeigeführt werden und dadurch auch die Vereinigung beider Gase zu Wasser. Bei einer Temperatur von 345° verbinden sich beide Gase allmählig und ohne Explosion, wenn das Gefäß, worin die Gase enthalten sind, mit zerstoßenem Glas oder mit anderen scharfen und edigen Körpern gefüllt ist. Bei Gegenwart der edlen Metalle, namentlich Gold, Platin, Iridium, vereinigen sich beide Gase selbst bei den niedrigsten Temperaturen zu Wasser.

*) Journ. de Pharm. et de Chim. [3] T. XVII. p. 20.

Während der Sauerstoff sich mit allen Elementen verbindet, geht der Wasserstoff nur mit wenigen Elementen eine Verbindung ein. Diese Elemente sind folgende: Fluor, Chlor, Sauerstoff, Brom, Jod, Schwefel, Selen, Phosphor, Stickstoff, Arsen, Antimon, Tellur. Die Reihenfolge entspricht dem Grade der Verwandtschaft; diese ist um so schwächer, je weiter das Element in dieser Reihe zurücksteht. Bei erhöhter Temperatur ist die Verwandtschaft des Wasserstoffs zum Sauerstoff so groß, daß er den letzteren vielen Metalloxyden entzieht. Man wendet ihn daher häufig als Reductionsmittel an, um entweder das Oxyd in Metall oder wenigstens in eine niedrigere Oxydationsstufe zu verwandeln. Man bedient sich hierzu des in beistehender Figur abgebildeten Apparates. Die Glasgugel *d* dient zur Aufnahme des Metalloxydes. Da hierbei nur trocknes Wasserstoffgas verwendet werden kann,



so leitet man dasselbe erst durch die Kugelhöhre *b*, wo sich ein großer Theil des mechanisch mit fortgerissenen Wassers absetzt und dann durch die mit Chlorcalcium gefüllte Röhre *c*, wo das Gas vollständig getrocknet wird. Man erhitzt die Kugelhöhre *d* erst dann, wenn die atmosphärische Luft vollständig aus dem Apparat ausgetrieben worden ist. Nach vollendeter Reduction läßt man noch so lange Wasserstoffgas durch den Apparat gehen, bis die Kugelhöhre *d* erkaltet ist.

Dieser Versuch dient gleichzeitig dazu, um die Zusammensetzung des Wassers und der reducirten Oxyde kennen zu lernen. Hat man die Kugelhöhre *d* leer, mit dem Oxyd gefüllt und nach Beendigung der Operation gewogen, so kann man sehr leicht die Sauerstoffmenge berechnen, welche das Metalloxyd verloren hat. Verbindet man *d* auch auf der anderen Seite mit einer Kugelhöhre und einem Chlorcalciumrohr, so wird durch diese das bei dem Versuche erzeugte Wasser zurückgehalten. Wir erfahren also leicht das Gewicht des Wassers und des abgegebenen Sauerstoffs; die Differenz ist das Gewicht des Wasserstoffs, welches sich mit dem Wasserstoff zu Wasser verbunden hat. — Die Reduction durch Wasserstoff wird vielfach in der quantitativen Analyse angewendet. Zweckmäßige Methoden sind besonders von G. Rose *) angegeben. Rivot **) empfiehlt die Reduction durch Wasserstoff zur Trennung einiger Metalle von gewissen Erden.

Auf gleiche Weise werden auch verschiedene Schwefel- und Chlormetalle

*) Pharm. Centralbl. 1849. S. 609.

**) Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. XXX. p. 188.

reducirt, nur daß sich hierbei Schwefel- und Chlornasserstoff bildet. Natürlich kann zu diesen Reductionen nur ganz reines Wasserstoffgas benutzt werden.

Bekanntlich läßt sich der Wasserstoff in sehr vielen organischen Verbindungen durch Chlor, Brom, Jod ganz oder theilweise ersetzen, aber nur in wenigen Fällen ist es bisher gelungen, den Wasserstoff zu substituiren. Am günstigsten wirkt hier nach Berthelot *) das Wasserstoffgas im Entstehungs-Moment.

In der quantitativen Analyse leistet das Wasserstoffgas dem Chemiker wesentliche Dienste; insbesondere bei der Analyse der Luft und Gasanalysen, die Sauerstoff enthalten. (Vergl. d. Art. Eudiometer, Bd. II. S. 934). Røyer hat vorgeschlagen **), bei Mineralwasseranalysen zur Bestimmung des Schwefelwasserstoffgehaltes, sobald gleichzeitig noch lösliche Sulphurete zugegen sind, das Wasserstoffgas anzuwenden. Man läßt zu diesem Ende das Wasserstoffgas durch das Wasser, welches sich in einer Retorte befindet, um darin schließlich erwärmt zu werden, streichen. Das mit dem freien Schwefelwasserstoff beladene Wasserstoffgas leitet man dann durch eine Lösung von salpetersaurem Silberoxyd in Ammoniak. Aus dem gefällten Schwefelsilber berechnet man den Schwefelwasserstoff. Das rückständige Wasser wird dann mit Kupferchlorid oder arseniger Säure ausgefällt. Hierdurch wird der Schwefel bestimmt, der in dem mit Wasser vorhandenen Schwefelkali vorhanden war.

Nach Osann soll der bei der Zersetzung durch den Strom der Batterie abgeschiedene Wasserstoff eine eigene Modification bilden ***). Zersetzt man nämlich eine verdünnte Schwefelsäure in der Weise, daß man zur positiven Elektrode Platin, zur negativen Kohle anwendet, so tritt, wenn die Stromstärke nicht zu groß, die Wasserstoffgasentwicklung an der Kohle später ein, als die Sauerstoffgasentwicklung an dem Platin. Es nimmt also die Kohle in ihre Poren eine gewisse Menge Wasserstoff auf und erst wenn diese damit erfüllt sind, entwickelt sich das Wasserstoffgas an der Oberfläche derselben. Eine solche Kohle schlägt metallisches Silber aus einer Auslösung von salpetersaurem Silberoxyd nieder. Da weder die Kohle, noch das gewöhnliche Wasserstoffgas diese Eigenschaft besitzen, so nimmt Osann an, daß der Wasserstoff sich hier in einem eigenthümlichen Zustande, der dem Ozon beim Sauerstoff entspricht, befindet. Er unterscheidet daher beim Wasserstoff die elektrische und thermische oder active und passive Modification. Einen Apparat für die Versuche, welche den Beweis für diese Thatsachen liefern sollen, hat Osann im Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVI. S. 113 und Bd. LXXI. S. 355 beschrieben. Dieser Wasserstoff veranlaßt auch in einer Mischung von Eisenchlorid und Kaliumeisenchyanid die Bildung von Berlinerblau durch Reduction des Eisenchlorids zu Chlorür. Osann schlägt diese Flüssigkeit als Reagens auf den galvanisch ausgeschiedenen Wasserstoff vor. Er erinnert bei dieser Gelegenheit daran, daß nach Jam in galvanisch ausgeschiedenes Wasserstoffgas über Wasser, versetzt mit einigen Tropfen Salpetersäure, an seinem Volumen vermindert wird, wenn Flüssigkeit und Gas durch einen Platinstreifen in Verbindung gesetzt werden. Bei Anwendung von gewöhnlichem Wasserstoffgas fand eine solche Volumenverminderung nicht statt.

*) Journ. de Pharm. et de Chim. T. XXXII. p. 83.

**) Silliman, Americ. Journ. Vol. XVIII. p. 213.

***) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVIII. S. 385.

Platinschwamm besitzt nach Osann die Eigenschaft auch das gewöhnliche Wasserstoffgas in die active Modification überzuführen *). Da das Gleiche auch beim Sauerstoff der Fall ist, so erklärt Osann aus diesem Umstande die Entzündung des Wasserstoffgases durch Platinschwamm. — Nach Osann würde die mit activen Sauerstoff beladene Kohle gute Dienste bei Analysen leisten können. Es kommt oft der Fall vor, daß man ein schwer oxydirbares Metall aus seiner Auflösung durch ein leicht oxydirbares herausfällt. Hierbei tritt nun der unangenehme Umstand ein, daß an die Stelle des ersteren ein gleiches Aequivalent des letzteren kommt, das ebenfalls wieder abgeschieden werden muß. Dies kann man durch Anwendung der Kohle umgehen.

Mit dem Sauerstoff geht der Wasserstoff zwei Verbindungen ein: das Wasserstoffoxyd oder Wasser (H_2O) und das Wasserstoffsuperoxyd oder das oxydirte Wasser (HO^2). Das Wasser besteht in 100 G.-Th. aus 88,9 G.-Th. Sauerstoff und 11,1 G.-Th. Wasserstoff. Zerlegt man das Wasser dagegen in seine gasförmigen Bestandtheile, so erhält man auf 1 M.-Th. Sauerstoffgas 2 M.-Th. Wasserstoffgas.

Zahrtausende hindurch galt das Wasser, nach der alten Lehre des Aristoteles, neben dem Feuer, der Luft und der Erde als Element. Schon die alten griechischen Philosophen beschäftigten sich mit der Frage nach dem Grundstoff aller Dinge auf Erden und als solchen sah Thales, der Ionier (um 600 v. Chr. v.), das Wasser an. Die Pflanzen und die Thiere sollten nach ihm nichts Anderes sein als zu diesen verschiedenen Formen verdichtetes Wasser; und nach ihrem Tode sollten sie alle wieder zu Wasser werden. Schon bei Plinius finden wir die Ansicht ausgesprochen, daß sich das Wasser in Luft verwandeln könne und hieran hielt man fest bis gegen Ausgang des vorigen Jahrhunderts. In späterer Zeit war man auch der Meinung, das Wasser in Erde verwandeln zu können. Veranlassung hierzu gab der erdige Rückstand, der beim Abdampfen des in der Natur vorkommenden Wassers stets beobachtet wird. Obgleich schon die Römer, wie wir bei Rufus und Vitruvius finden, wußten, daß dieser Rückstand nicht aus dem Wasser entstanden, sondern von Anfang an als fremdartige Beimischung in demselben enthalten, so wurde dennoch diese „Verfehrung“ des Wassers in Erde zuerst von Rob. Boyle im 17. Jahrhundert behauptet. Unter den zahlreichen Anhängern dieser Ansicht finden wir 100 Jahre später auch Marggraf, den bekannten Entdecker des Runkelrübenzuckers. Schon Boerhave sprach sich 1732 gegen diese Ansicht aus. Die Erde, welche beim Eindampfen von destillirtem Wasser entstehen sollte, hielt er für feinen Staub, der sich stets in der Atmosphäre befindet. Vergebens erklärte auch Scheele (1777), daß der erdige Rückstand, welchen man erhält, wenn man destillirtes Wasser in Glasgefäßen abdampft, die Bestandtheile des Glases enthalte und daß das Gefäß genau so viel an Gewicht verloren habe, als die vermeintliche Erde wiege. Lavoisier erklärte dasselbe, aber dennoch sah sich Carl v. Dalberg 1783 veranlaßt, neue Versuche zur Lösung dieser Frage anzustellen. Auch er that die Unwahrheit der Umwandlung des Wassers in Erde nach, aber immer noch gab es Ungläubige, die nur erst

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXIX. S. 1.

belehrt werden konnten, als man die Zusammensetzung des Wassers genauer kennen lernte.

Als man es endlich wagte, die durch Jahrtausende hindurch vererbte Tradition von der Unzerlegbarkeit des Wassers zu leugnen und es ganz aus der Reihe der Urstoffe zu streichen, da erhob sich ein sehr heftiger Kampf. Schon seit langer Zeit wußten die Chemiker, daß sich beim Auflösen von Eisen in verdünnter Schwefelsäure ein brennbares Gas bildet, aber selbst noch Priestley hielt 1778 dieses Gas für identisch mit den brennbaren Gasen, die sich bei der trockenen Destillation organischer Körper entwickeln. Es konnte nicht ausbleiben, daß das Auftreten von Wasser bei der Verbrennung des Wasserstoffgases bemerkt wurde, aber man versuchte nicht, diese Thatsache zu erklären. Desgleichen hatte man auch die Wasserbildung bei der Verbrennung organischer Körper beobachtet; aber auch diese blieb unerklärt. Selbst als Priestley von seinem Gehülfen Warltire auf den Thau, der sich stets auf der inneren Seite des Gefäßes zeigte, in welchem man die Verbrennung des Gases vornahm, aufmerksam gemacht wurde, schrieb er denselben der Feuchtigkeit zu, die nach der Bereitungsart stets den Gasen anhängen mußte.

Watt machte 1782 in einem Briefe an Priestley zuerst die Meinung geltend, daß das Wasser bei der Verbrennung aus der brennbaren und der Lebensluft, wie man damals den Sauerstoff nannte, durch Abgabe der gebundenen Wärme entsteht. Dieser Behauptung widersprach Priestley geradezu; aber Cavendish fand sie wahrscheinlich. Um dem erwähnten Einwande Priestley's zu entgehen, trocknete er die beiden Lustarten vor der Verbrennung sorgfältig. Als er darauf (1781) 6 G.-Th. Lebensluft mit 1 G.-Th. brennbarer Luft (Wasserstoffgas) durch einen elektrischen Funken verpuffte, war sämtliche Luft verschwunden und statt dessen fand er reines Wasser, dessen Gewicht genau mit dem der angewandten Lustarten übereinstimmte.

Diese Entdeckung von Cavendish kam Lavoisier sehr erwünscht. Er erkannte sofort die Wichtigkeit derselben für seine von allen damaligen Chemikern verkehrte Theorie, welche der Lehre vom Phlogiston den Untergang bereiten sollte. Von Laplace unterstützt führte Lavoisier den Versuch im Großen aus. Er stellte 11 Loth und $\frac{2}{3}$ Quentchen Wasser dar, das aber nicht frei von Salpetersäure war. Den glänzendsten und umfangreichsten Versuch dieser Art stellten einige Jahre später die französischen Chemiker Seguin, Fourcroy und Berthollet an. Sie verbrannten 25,282 Cubitzoll brennbare Luft und 12,457 Cubitzoll Lebensluft und erhielten nach 17 Tagen und 17 Stunden 30 Loth und $\frac{3}{4}$ Quentchen Wasser. Dieser Riesenversuch, der noch nicht ein Pfund Wasser lieferte, lehrt uns, daß wir übel daran wären, falls wir das Wasser zu unserm Gebrauch auf diese Art darstellen sollten.

Um seine Ansichten zu beweisen, mußte Lavoisier das Wasser auch in seine Bestandtheile zerlegen. Ueber diese Versuche berichtete er bereits am 21. April 1784 an die Pariser Akademie der Wissenschaften. Er zerlegte das Wasser, indem er dasselbe über glühendes Eisen und glühende Kohlen leitete. So wurde denn das Wasser mit Recht aus der Reihe der Elemente gestrichen, obgleich von vielen Seiten dagegen protestirt wurde. Man wurde nicht müde die sonderbarsten Erklärungen für die von Lavoisier entdeckten Thatsachen anzuführen. Merkwürdig ist, daß Plato bereits vor Jahrtausenden geahnt zu haben scheint, was erst durch

Lavoisier zu Ende des vorigen Jahrhunderts zur Wirklichkeit geworden ist. In seinen Werken findet sich nämlich der Ausspruch: „Das Wasser, wenn es durch das Feuer zerlegt wird, kann Feuerluft oder zwei luftartige Körper geben.“

Uebrigens hat die Frage von der Zusammensetzung des Wassers die Chemiker bis in die neueste Zeit beschäftigt. Durch Alexander v. Humboldt und Gay-Lussac wissen wir seit 1805, daß sich die beiden gasförmigen Bestandtheile des Wassers genau in dem Verhältniß von 2 M.-Th. Wasserstoffgas und 1 M.-Th. Sauerstoffgas zu Wasser verbinden. Berzelius, Dulong, Dumas, Poussingault, Erdmann und Marchand lehren uns ferner, daß in dem Wasser 1 G.-Th. Wasserstoff mit 8 G.-Th. Sauerstoff verbunden sind. Nichts desto weniger hat vor einigen Jahren ein Engländer Stephenson ein eigenes Werk herausgegeben, in dem er gerade das Entgegengesetzte behauptet, daß das Wasserstoffgas zusammengesetzt und das Wasser nicht zerlegbar sei.

Das Wasser kommt in allen drei Aggregatzuständen auf der Erde vor, als Eis (s. d. Art. Bd. II. S. 600), Schnee (s. d. Art. Bd. V. S. 744) und Reif (s. d. Art. Bd. V. S. 636) in fester Form, als Wasser und Thau (s. d. Art. Bd. VI. S. 267) in flüssiger Form und als Wasserdampf in der Atmosphäre. Der Wasserdampf ist zwar unsichtbar wie die atmosphärische Luft, aber sobald er sich mit dieser mischt, verdichtet er sich theilweise zu Bläschen, die Luft eingeschlossen enthalten. Diese Bläschen bilden die Wolken und Nebel (s. d. Art.). Verdichtet sich der Wasserdampf zu soliden Tropfen, so fällt er als Regen (s. d. Art. Bd. V. S. 582) wieder zur Erde.

Das specifische Gewicht des Wassers wird = 1 gesetzt. Er dient also als Einheit bei der Bestimmung des spec. Gew. der flüssigen und festen Körper. Das Wasser ist fast 770 Mal schwerer als die atmosphärische Luft von 0°; bei 15,5° C. ist das Wasser jedoch 815 Mal schwerer als die Luft von gleicher Temperatur. Das Gewicht eines Cubikcentimeter Wasser bei 4,01 C., also im Zustande der größten Dichtigkeit und bei einem Barometerstande von 28'' bildet die Einheit des französischen Gewichtes; diese Wassermasse wiegt nämlich im Vacuo einen Grammen. Unter den angegebenen Umständen wiegen also:

	Grammen:	Preuß. Grane:
ein Pariser Cubitzoll Wasser	19,836	325,7
ein rheinl. " "	17,891	293,8
ein engl. " "	16,381	269
ein Pariser Cubitzuß " "	34236,6	561541 oder 68,4732 neue Pfd.
ein rheinl. " "	30915,6	507647 " 61,8312 " "
und bei 18°,75 C. 61,73685 Pfd.		

Das Wasser vermag nur in einem geringen Grade die Wärme zu leiten und in einem noch geringeren die Electricität. Durch Reiben wird es indessen elektrisch. Ueber das Verhalten des Wassers zur Wärme vergl. d. Art. Dampf und Verdunstung. Weil das Wasser eine große Wärmemenge verbraucht, um erwärmt zu werden, also die Wärme nicht so leicht annimmt wie andere Körper, so kühlt es auch nur langsam ab und giebt hierbei eine große Menge Wärme wieder ab. Deshalb bedienen wir uns auch des Wassers zum Heizen (s. d. Art. Bd. III. S. 774 u. 778). — Das Wasser ist elastisch und zusammendrückbar. Durch den Druck einer Atmosphäre wird es nach Derstedt um 0,0000045 seines Vo-

lumens zusammengedrückt. Erfolgt das Zusammendrücken sehr schnell, so macht sich ein vorübergehendes Leuchten bemerkbar. Neuere Untersuchungen über die Zusammendrückbarkeit des Wassers hat Grassi angestellt *).

Obgleich wir das Wasser als einen neutralen Körper bezeichnen, so geht dasselbe doch mit anderen Körpern verschiedene Verbindungen von constanter Zusammensetzung ein. In diesen nimmt das Wasser entweder die Stelle einer Säure oder Base oder die eines Salzes ein. Die Verbindungen der ersteren Art nennt man Hydrate. Beim Kalihydrat (KO, HO) z. B. vertritt das Wasser die Stelle einer Säure; bei den Kalisalzen tritt die Säure an die Stelle dieses Wassers, wie z. B. im schwefelsauren Kali (KO, SO_3). Bei den Säuren hingegen vertritt das Wasser in den Hydraten die Stelle einer Base; so können z. B. die 3 Aeq. Wasser im Hydrat der gewöhnlichen Phosphorsäure durch 3 Aeq. eines Metalloxydes ersetzt werden. Da die Säuren oft verschiedene Hydrate bilden, so nennt man den Antheil des Hydratwassers, der eben durch Basen ersetzt werden kann, basisches Wasser. Bei Basen und Säuren ist diese Verbindung mit dem Wasser oft eine so innige, daß das Wasser selbst nicht durch Glühen ausgetrieben werden kann. Ueber das Krystallwasser der Salze s. d. Art. Bd. V. S. 685.

Verschiedene Körper besitzen die Eigenschaft, das in der Luft enthaltene Wasser an sich zu ziehen. Diese nennt man hygroskopische Körper, d. h. Feuchtigkeitsammler. Einige Salze und wasserfreie Säuren besitzen diese Eigenschaft in einem so hohen Grade, daß sie an der Luft zerfließen. Wir bedienen uns dieser Körper, wie z. B. der Schwefelsäure, des Chlorkalcium u. um Gase zu trocknen und um Flüssigkeiten und festen Körpern das Wasser zu entziehen. Vergl. d. Art. *Trocknen*, Bd. VI. S. 441. Oder sie dienen dazu, um die Anwesenheit von Wasserdampf in der Luft nachzuweisen und die Menge desselben zu bestimmen. Vergl. d. Art. *Hygrometer*, Bd. III. S. 906. Bei der organischen Analyse dient das Chlorkalcium dazu, um das bei der Verbrennung gebildete Wasser aufzufangen.

Das Wasser ist eines unserer allgemeinsten Auflösungsmittel, namentlich für Salze, so wie auch für viele organische Verbindungen, wie z. B. Gummi, Zucker, Säuren u. Einige flüssige organische Verbindungen, wie z. B. ätherische Oele, Aether u. werden vom Wasser nur in sehr geringer Menge aufgelöst; andere dagegen, wie z. B. Alkohol lassen sich damit in jedem Verhältniß mischen. Vergl. d. Art. *Auflösung*, Bd. I. S. 568, *Lösung*, Bd. IV. S. 647, *Kältemischung*, Bd. IV. S. 174 und *Salze*, Bd. V. S. 687. Ueber die Auflösung der Gase durch das Wasser vergl. d. Art. *Absorption*, Bd. I. S. 17.

Das Wasser ist in der Regel ohne Geruch und Geschmack. Die gänzliche Abwesenheit beider ist für das alltägliche Leben von hoher Wichtigkeit. Hätte das Wasser selbst einen eigenen, bestimmt ausgeprägten Geschmack, so würde dadurch die Mannichfaltigkeit des Sinnengenusses, der seinen Sitz auf der Zunge hat, sehr beschränkt, wenn nicht ganz zerstört werden, denn das Wasser allein vermittelt durch die auflösende Kraft, die es auf die verschiedenen Substanzen ausübt, den Geschmack. Nur das äußert einen Geschmack, was im Wasser löslich ist. Hätte das Wasser selbst einen Geschmack, so würde es bei dem häufigen Genuß die Geschmacksnerven überreizen und auch dadurch die Verrichtungen der Zunge, das

*) Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. XXXI. p. 437.

Schmecken, beeinträchtigen. — In kleinen Mengen besitzt das Wasser keine Farbe; ob dies aber auch bei Schichten von sehr großer Dicke der Fall sei, darüber wird noch gestritten (s. d. Art. Meer, Bd. IV. S. 993 und Seen, Bd. V. S. 824). Bunsen hat neuerdings den Beweis dafür beigebracht, daß dem Wasser die blaue Farbe eigenthümlich ist. Um sich von der Richtigkeit dieser Thatsache zu überzeugen, schwärzt man eine etwa 2 Zoll weite und ungefähr 6 Fuß lange Glasröhre innen mit einer Mischung von Rienruß und flüssigem Wachs, jedoch so, daß das untere mit einem Kork verschlossene Ende $\frac{1}{2}$ Zoll weit von diesem Ueberzuge frei bleibt. Dann wirft man einige Stücke von weißem Porzellan in die Röhre, füllt diese mit chemisch reinem Wasser und stellt sie dann aufrecht in eine weiße Porzellanschale. Sieht man nun von oben durch die 6 Fuß hohe Wassersäule, so erscheinen die Porzellanstücke nicht weiß, sondern blau. Je mehr man die Wassersäule verkürzt, um so schwächer wird die Färbung und zuletzt verschwindet sie ganz. — Bei gewissen Salzen, wie z. B. denen des Kupfers, Nickels, Kobalts u. s. w. bewirkt das Wasser eine Färbung; die wasserfreien Salze sind entweder farblos oder sie besitzen doch eine andere Farbe als die wasserhaltigen krystallisirten.

Das in der Natur vorkommende Wasser ist nie rein. Der Hauptcharakter des Wassers ist seine Beweglichkeit. Es durchdringt den Erdkörper nach allen Richtungen wie das Blut unseren Körper, — ein Vergleich, der schon aus alter Zeit herrührt. Da das Wasser überall mit verschiedenen Erdschichten in Berührung kommt, so hat es vollauf Gelegenheit aus diesen verschiedene Bestandtheile aufzulösen und mit sich fortzuführen. Enthält das Wasser mineralische Substanzen in größeren Mengen aufgelöst, so führt es den Namen Mineralwasser (s. d. Art. Quelle, Bd. V. S. 562.)

Je nach den Erdschichten, mit denen das Wasser der Quellen und Flüsse in Berührung kommt, sind auch die darin enthaltenen mineralischen Bestandtheile der Menge und Beschaffenheit nach sehr verschieden. Wir stellen nachstehend die Resultate verschiedener Analysen von Fluß-, Quell- und Brunnenwasser zusammen. Sie beziehen sich sämmtlich auf 100,000 Th. Wasser.

	1.	2.	3.	4.	5.		6.		7.		8.	9.	10.
					a.	b.	a.	b.	a.	b.			
Kohlens. Kalkerde	11,3	10,5	17,5	4,3	10,0	15,0	5,2	8,3	1,7	4,81	6,45	16,55	7,89.
„ Magnesia	0,4	0,9	2,0	—	—	—	0,4	1,2	—	0,61	0,34	0,27	0,49.
Kieselerde.	0,8	0,6	2,0	1,9	Spur	—	0,1	0,2	—	4,06	4,01	2,44	2,38.
Schwefels. Kalk	3,6	3,1	15,3	Spur	0,6	2,0	3,2	6,5	—	—	—	2,69	4,66.
„ Magnesia	0,6	1,2	7,0	—	Spur	0,7	2,9	6,2	—	—	—	—	0,63.
Chlorcalcium	1,0	—	—	1,5	Spur	—	—	—	—	—	—	—	—
Chlormagnesium	0,8	1,7	4,0	—	Spur	—	0,7	0,7	1,5	3,1	—	—	—
Chlornatrium	—	—	Spur.	Spur.	Spur	—	—	—	—	Spur	0,48	0,32	1,23
Salpeters. Salze	Spur	—	—	—	—	Spur	—	—	—	—	—	1,42	0,85.
Organ. Stoffe	Spur	Spur.	Spur.	Spur.	Spur.	Spur.	0,3	0,4	—	—	—	—	—
Thonerde	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,71	—	0,5	0,39.
Eisenoxyd	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,85	0,31	0,25	—
Kohlens. Natron	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,46	0,65	—	—
Schwefels. Natron	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,34	0,53	—	0,74.
Kieselsaures Kali	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,44	—	—	—
Schwefels. Kali	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,76	0,50	—
	18,2	18,0	47,8	7,7	10,6	18,4	12,8	24,3	6,8	13,46	13,67	25,44	18,20.

	11.	12.		13.	14.	15.	16.	17.
		a.	b.					
Kieselerde	1,39	4,88	0,19	0,22	1,3	2,06	3,70	3,0.
Thonerde	0,21	0,23	1,14	0,03		Spur	Spur	—
Eisenoxyd	0,30	0,38				Spur	Spur	—
Kohlensaure Kalk	19,10	13,36	8,73	7,20	6,5	2,48	8,08	13,2.
Kohlensaure Magnesia . .	0,23	0,30	0,29	0,03	0,9	0,70	2,34	
Schwefelsaurer Kalk . . .	—	1,47	1,99	0,61	—	—	—	—
Schwefelsaure Magnesia .	—	—	0,64	0,72	—	—	—	—
Chlormagnesium	0,03	—	—	—	—	—	—	23,0.
Chlornatrium	0,23	0,20	1,83	2,33	1,2	0,61	0,23	32,5.
Schwefelsaures Natron . .	0,31	1,33	—	—	0,6	0,19	1,23	7,5.
Schwefelsaures Kali . . .	—	—	—	—	0,6	0,12	—	—
Salpetersaure Salze . . .	0,80	0,38	Spur	—	0,3	—	—	—
Kieselsaures Kali	—	—	0,80	0,90	—	—	—	—
Kohlensaures Kali	—	—	0,29	Spur	—	—	—	—
Magnesia } mit organi-	—	—	0,63	—	—	—	—	—
Natron } schen Säuren	—	—	0,36	—	—	—	—	—
Kali } verbunden	—	—	—	0,39	—	—	—	—
Chlorcalcium	—	—	—	—	—	0,16	0,22	Spur.
Kohlensaures Natron . . .	—	—	—	—	—	0,41	0,06	—
	13,02	23,17	13,93	12,72	11,4	6,73	16,08	103,2.

1. Wasser aus der Seine oberhalb Paris; 2. aus der Maone; 3. aus der Durcq zu St. Denis; 4. aus der Yonne zu Avallon, sämtlich Nebenflüsse der Seine; 5. aus der Rhone bei Lyon und zwar a. im Juli und b. im Februar geschöpft; 6. aus der Aore, einem Nebenflusse der Rhone bei Genf, und zwar a. im August und b. im Februar geschöpft; 7. aus der Loire bei Orbans, von verschiedenen Chemikern herrührend; 8. aus der Garonne bei Toulouse; 9. aus der Seine bei Bercy; 10. aus dem Doubs bei Rivette; 11. aus der Rhone bei Genf; 12. aus dem Rhein a. bei Straßburg und b. bei Arnheim; 13. aus der Maas bei Greve; 14. aus der Spree bei Berlin; 15. aus dem Ottawafluß; 16. aus dem Lorenzfluß, 15. und 16. gegen Ende des Winters, vor dem Schmelzen des Schnees geschöpft, um es so rein wie möglich von den Quellen zu erhalten *); 17. aus dem Jordansfluß 2 bis 3 Wegestunden vor seiner Mündung geschöpft **).

Analysen von Quell- und Brunnenwasser.

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Kohlens. Kalkerde	23,8	23,4	27,0	6,80	1,81	0,9	23,73	23,61	21,39	20,79	23,00	19,90.
„ Magnesia	—	—	—	1,24	0,07		—	0,46	0,78	0,43	0,38	0,82.
Kieselerde	Spur	Spur	—	0,37	—		2,50	2,46	3,90	3,48	1,52	3,06.
Schwefels. Kalk	1,4	1,7	23,2	—	3,13	3,2	0,51	1,00	—	0,74	—	16,38.
„ Magnesia	—	—	—	—	6,87		—	—	—	—	—	—
Chlorcalcium	—	1,3	16,8	—	—		—	—	—	—	—	—
Chlormagnesium	—	Spur	1,6	—	0,73	8,4	0,20	0,40	—	0,27	—	1,66.
Chlornatrium	1,2	0,2	12,6	—	0,33		—	—	0,20	—	0,32	3,76.
Kohlens. Kali	—	—	—	2,96	—		—	—	—	—	—	—
Schwefels. Kali	—	—	—	1,20	—	—	—	—	—	—	—	2,01.

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Chlorkalium	—	—	—	1,09	—	—	0,07	0,71	—	0,11	—	—
Organ. Stoffe . Spur	Spur	Spur	Spur	0,26	—	—	—	—	—	—	—	—
Salpeters. Salze	Spur	—	7,6	—	—	Spur	1,41	2,00	Spur	1,52	0,27	5,70.
Thonerde	—	—	—	—	—	—	0,43	0,43	0,90	0,65	0,10	0,53.
Kohlens. Natron	—	—	—	—	—	—	—	—	0,69	—	0,21	—
Schwefels. Natron	—	—	—	—	—	—	—	—	0,43	—	0,27	0,54.
	26,4	26,6	90,8	14,30	12,96	12,5	30,85	33,07	28,31	27,99	26,07	54,36.

	13.	14.	15.	16.	17.	18.
Kieselerde	5,31	2,10	2,32	0,22	0,27	1,84.
Thonerde }	0,39	0,86	1,03	0,73	—	0,31.
Eisenoxyd }						
Kohlensäurer Kalk	23,31	39,86	31,88	42,44	2,44	31,11.
Kohlensäure Bittererde	0,76	3,14	0,56	3,89	0,18	2,12.
Chlornatrium	—	62,43	21,74	41,50	6,36	13,26.
Chlorkalium	1,99	—	—	—	—	—
Chlormagnesium	6,13	—	—	—	—	—
Schwefelsaures Natron	—	—	5,67	11,26	—	3,63.
„ „ Kali	—	—	7,25	—	—	—
Kieselsaures Kali	—	1,02	1,66	1,96	1,70	2,56.
Kohlensaures Kali	—	8,95	Spur	Spur	—	6,90.
„ „ Natron	—	—	—	—	—	—
Schwefelsaurer Kalk	26,60	24,95	8,32	2,49	1,40	1,22.
Salpetersaure Salze	21,45	24,38	Spur	—	—	0,70.
Magnesia } an organische {	—	—	—	—	—	—
Natron } Säuren ge- {	—	0,95	—	2,53	—	1,33.
Kali } bunden. {	—	4,80	5,04	17,07	—	3,17.
Organische Substanzen	—	—	—	—	—	—
Schwefelsaure Magnesia	—	—	13,84	5,99	—	1,42.
	86,16	173,46	99,31	130,10	12,35	70,17.

	19.	20.	21.		22.	23.
			a.	b.		
Kieselerde	0,46	0,89	0,93	0,67	1,15	0,26.
Thonerde }	0,31	2,34	0,49	0,89	0,38	0,46.
Eisenoxyd }						
Kohlensäurer Kalk	23,47	43,40	5,00	4,84	3,22	7,35.
Kohlensäure Bittererde	0,38	1,84	3,03	2,49	0,99	6,68.
Chlornatrium	20,80	34,22	25,30	24,46	18,30	14,15.
Chlorkalium	—	—	—	—	—	—
Chlormagnesium	—	—	—	—	—	—
Schwefelsaures Natron	—	—	11,74	8,25	13,45	3,71.
„ „ Kali	—	—	27,32	30,14	16,60	28,66.
Kieselsaures Kali	3,12	0,90	—	—	—	—
Kohlensaures Kali	2,20	4,32	—	—	—	—
„ „ Natron	—	—	6,73	7,46	13,89	4,38.
Schwefelsaurer Kalk	9,30	10,57	—	—	—	—
Salpetersaure Salze	0,90	21,77	—	—	—	—
Magnesia } an organische {	1,46	—	—	—	—	—
Natron } Säuren ge- {	2,90	1,62	—	—	—	—
Kali } bunden. {	2,25	—	—	—	—	—
Organische Substanzen	—	—	1,03	1,50	1,10	2,58.
Schwefelsaure Magnesia	—	4,20	—	—	—	—
	67,55	126,07	81,57	80,70	69,08	68,23.

1. Wasser aus der Quelle Roze zu Lyon; 2. aus der Quelle der Fontaine zu Lyon; 3. aus der Quelle des Pflanzengartens zu Lyon; 4. aus dem artesischen Brunnen zu Lyon; 5. aus dem artesischen Brunnen des Posthauses zu Alfort; 6. aus einem Brunnen zu Greifswald; 7. bis 12. Quellwasser von Mouillera, Villecul, Arcier, Bregille, Supon und Arcueil; 14. bis 20. Brunnenwasser von Besançon, Bliessingen, Leiden, Herzogenbusch, Amerongen, Middelburg, Haag, Zwolle; 21. Brunnenwasser von Westbourne Park a. aus einem Sand- und b. Kalklager stammend; 22. Brunnenwasser von Russell Square; 23. Wasser aus dem artesischen Brunnen der Honwell Irrenanstalt.

Werfen wir einen Blick auf die vorstehenden Analysen, so bemerken wir, daß im Allgemeinen das Wasser der Flüsse weniger feste Bestandtheile enthält, als das der Quellen; daß ferner das Flußwasser im Sommer weit weniger reich an mineralischen Bestandtheilen ist als im Frühjahr. Man sieht gleichfalls, daß mit dem Wechsel der Jahreszeiten nicht allein die absolute Menge der Mineralsubstanzen sich vermindert, sondern auch die gegenseitigen procentischen Verhältnisse der einzelnen Bestandtheile. Die Verschiedenheit in den Bestandtheilen der vorstehenden Wässer erklärt sich leicht aus der geognostischen Beschaffenheit der Gegenden, welche das Wasser durchströmt und der Gesteine, denen es entquillt. Beide stehen in einem so innigen Verhältniß zu einander, daß man, wenn man mit der geognostischen Beschaffenheit eines Landes genau bekannt ist, daraus auf die mineralischen Bestandtheile der Flüsse in jener Gegend mit Sicherheit schließen kann. Und umgekehrt läßt sich auch nach einer chemischen Untersuchung des Wassers im Allgemeinen der geognostische Charakter einer Gegend bestimmen. Der Gehalt des Wassers an mineralischen Salzen richtet sich also nach der Löslichkeit des Gesteines, aus welchem es entspringt. Aus dem Granit kann das Wasser am wenigsten auflösen. Das Wasser des kleinen Flusses Loka im nördlichen Schweden, dessen Pette aus Granit besteht, enthält in 100,000 G.-Th. nur 0,302 G.-Th. mineralische Stoffe. Manche Quellen im Urgebirge Nordschottlands und im Grünsand des südlichen Englands enthalten 5,34 bis 6,41 G.-Th. mineralische Salze.

Außer den Salzen, die das Wasser dem Boden entzieht, enthält es auch noch Gase. Stickstoff und Sauerstoff finden sich stets in den Verhältnissen, in denen diese Gase von dem Wasser absorbiert werden. Beide rühren daher aus der Luft her. Anders aber ist es mit der Kohlensäure, die im Wasser in weit größerer Menge als in der Luft enthalten ist. Der Ursprung der Kohlensäure ist in der lösenden Wirkung, welche das Regenwasser auf die in der Ackererde eingeschlossene Luft ausübt, zu suchen. Die Erde enthält organische Körper, welche durch ihre Verwesung eine reiche Kohlensäurequelle bilden, so daß nach den Versuchen von Boussingault und Lewy die in der Ackererde eingeschlossene Luft 250 Mal mehr Kohlensäure enthält, als die gewöhnliche atmosphärische Luft. Daß beim Regen niederfallende Wasser nimmt diese Kohlensäure auf und wird dadurch gesättigt während seines Laufes in der Erde kohlensäure Erden aufzulösen.

In Deutschland legt man bis jetzt kein sonderliches Gewicht auf die Untersuchungen des Wassers und doch ist es keinesweges gleichgültig von welcher Beschaffenheit das einfachste, aber wichtigste und nothwendigste Getränk sei. An anderen Orten hat man die Wichtigkeit dieser Untersuchungen besser erkannt. So hat z. B. das französische Kriegsministerium und der Gesundheitsrath der Armee den Chemiker Boggiale mit einer Untersuchung der Wässer, durch welche die

Kasernen und Forts zu Paris versorgt werden, beauftragt — eine Arbeit, die mehr als fünf Jahre in Anspruch nahm. Man scheute keine Kosten, um nur gutes Wasser herbeizuschaffen. Auf Anordnung des englischen Ministerium des Innern haben die Prof. Graham, Miller und Hofmann eine ausführliche Untersuchung des Wassers, welches in London verbraucht wird und zu weiterer Versorgung dieser Stadt noch erst herbeigeführt werden soll, ausgeführt und in ihrem interessanten Bericht alle diesen wichtigen Gegenstand berührenden Fragen einer gründlichen Besprechung unterworfen. Obgleich die Actien der Gesellschaften, welche London mit Wasser versorgen, eine größere Dividende abwerfen als die meisten anderen städtischen Actienunternehmungen, so gehörte dennoch die Klage über die schlechte Beschaffenheit des Wassers zu den stehenden. Aus der Untersuchung der angeführten Chemiker geht hervor, daß neuerdings eine Aenderung eingetreten sei, wenigstens enthält das den Londonern ins Haus gelieferte Wasser jetzt um die Hälfte weniger schädliche organische Bestandtheile als noch vor fünf Jahren der Fall war.

Die Versorgung namentlich der größeren Städte mit gutem Trinkwasser gehört zu den wichtigsten Fragen des öffentlichen Wohles. Während man im Alterthum die kostbarsten Bauwerke auführte und gutes Wasser meilenweit den Städten zuführte, macht man sich jetzt die Sache ziemlich leicht. Man benutzt allgemein das Wasser der Flüsse und das ausgegrabener Brunnen und die Folge davon ist ein schlechtes und oft ungesundes Trinkwasser. Die Flüsse sind die allgemeinen Cloaken der Städte, bestimmt allen Unrath der Städte aufzunehmen. So werden z. B. der Themse aus London jährlich 725,000 Tonnenlasten oder $14\frac{1}{2}$ Mill. Ctr. Unrath zugeführt, die sich mit der Zeit auf dem Grunde ablagern und hier fast unererschöpfliche Düngerlager bilden, während man bis in die Südsee segelt, und für den Landbau Europas genau dieselben Hülfsmittel herbeizuschaffen, die hier und in fast allen Städten sinnlos vergeudet werden. Aus derselben Ursache stammt auch der Pesthauch der Themse, der jüngst so viel von sich reden machte. Dasselbe gilt, natürlich in einem entsprechenden Grade von allen großen Städten. Nicht viel besser ist es mit den Brunnen bestellt. Der Regen wäscht den Schmutz und Koth der Straßen aus und sickert mit allen den hier aufgelösten Stoffen beladen zu den Brunnen durch, wodurch wahrlich nicht eine Verbesserung des Wassers herbeigeführt wird. Aus den angeführten Ursachen sind schon häufig ernsthafte und gefährliche Krankheiten entstanden, deren Entstehung man gemeinhin ganz wo anders gesucht hat, während in der That das Geschrei der Ungebildeten über vergiftete Brunnen bei solchen Gelegenheiten nicht so sinnlos ist, wie man gemeinhin glaubt.

Geschicht, Geruch und Geschmack reichen aus um über die Güte des Trinkwassers zu entscheiden. Ein gutes Wasser muß hell, frisch und geruchlos sein und darf keinen unangenehmen, faden, süßlichen oder salzigen Geschmack besitzen. Ist es dagegen gefärbt, unklar oder nicht geruchlos, so kann es für die Gesundheit nachtheilige Stoffe enthalten und darf nicht gebraucht werden. Vor allen Dingen darf es keinerlei organische Stoffe enthalten und namentlich keine, die in Zersetzung begriffen sind. Auch das Maß der festen Bestandtheile hat seine Grenzen; mehr als 5 bis $7\frac{1}{2}$ Gran davon in einem Quart Wasser, also 26,7 bis 40 G.-Th. in 100,000 G.-Th. Wasser enthalten, sind nicht wünschenswerth. Als besonders schädlich werden salpetersaurer Kalk und Magnesia, die Chlorverbindungen dieser

Rasen und die Ammoniaksalze anzuwiehen. Man hat daher besonders darauf zu sehen, daß die Brunnen nicht in der Nähe von Viehställen liegen. Nach Plandea u *) ist Wasser, welches 10 G.-Th. Kalk oder Magnesia in 100.000 G.-Th. enthält, zum Kochen von Hülsenfrüchten oder zum Bleichen von Leinwand nicht brauchbar. Enthält es daneben noch eine gleiche Menge von organischen Substanzen, so wird es zu jeder häuslichen Verwendung unbrauchbar. Ganz besonders soll das Wasser durch einen Gehalt an thierischen Stoffen ungesund werden. Früher suchte man allgemein den Kropf und den Cretinismus, der in verschiedenen Gegenden herrscht, dem Gehalt des Trinkwassers an kohlensaurer Magnesia zuzuschreiben. Diese Ansicht ist aber durch die Analyse der Trinkwasser nicht bestätigt worden. So z. B. enthält das Brunnenwasser von Rhodes 5 Mal mehr kohlensaure Magnesia als das Trinkwasser im Isereithale und doch kommen hier Kropf und Cretinismus vor, aber in dem ersteren Orte nicht. Im Departement des Niederrhein haben Trinkwasser in verschiedenen Gemeinden, die viele und die gar keine Kropfe haben, ganz gleiche Beschaffenheit. Man sucht daher neuerdings die Ursache dieser krankhaften Bildung in der Abwesenheit des Jod in dem Trinkwasser und der Luft **). Aber nicht allein diese Behauptung wird bestritten ***), sondern überhaupt die Anwesenheit von Jod in dem Wasser und der Luft ****). Man leugnet sogar auch den Einfluß der Trinkwasser auf die Entstehung des Kropfes ganz und gar.

Ganz besonders macht der Gehalt an Luft und Kohlensäure das Wasser zu einem erfrischenden Getränk. Sind diese daraus entwichen, so schmeckt das Wasser fade und abgestanden. Ob die Salze für die Erhaltung unseres Körpers von Wichtigkeit sind, darüber wird gestritten. Auf der einen Seite wird den mineralischen Bestandtheilen eine große Bedeutung beigelegt und auf der anderen hält man diese gewissermaßen für ganz gleichgültig. Die Gründe, welche für die letztere Behauptung beigebracht werden, sind der Beachtung werth. Offenbar ist der Gehalt an Salzen in dem Wasser ein zu geringer, als daß sie bei der Erhaltung unseres Körpers in Betracht kämen. Was unser Körper an Salzen bedarf, erhält er in hinreichender Menge in den pflanzlichen und thierischen Nahrungsmitteln, die wir zu uns nehmen. Ein großer Gehalt an Salzen ist ja nicht einmal in dem Wasser erwünscht. Außerdem ist die Bedeutung des Wassers eine so wichtige, daß die Salze ganz aus dem Spiel bleiben können. Nicht dieser, da sie in hinreichender Menge auf anderem Wege geliefert werden, sondern das Wasser bedarf der Körper, denn ohne dasselbe kann das Leben nicht bestehen. Nur durch das Wasser wird der Umsatz und der Stoffwechsel, also die Ernährung ermöglicht. Für die Ernährung der Pflanzenwelt sind allerdings die in dem Wasser gelösten Salze von großer Wichtigkeit, denn ohne diese kann die Pflanze nicht gedeihen.

In dem thierischen Körper wie in den Pflanzen finden wir daher eine große Menge Wasser. Namentlich die weichen Thierstoffe, wie Fleisch etc., die aber dem

*) Compt. rend. T. XXX. p. 481.

**) Compt. rend. T. XXXI. p. 270; T. XXXIII. p. 518, 519, 529, 544, 584; T. XXXIV. p. 14 et 15; T. XXXV. p. 505.

***) Compt. rend. T. XXXIV. p. 332.

****) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVII. S. 313. Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen 1853. S. 131.

Wasser diese Weichheit und Biegsamkeit verdanken, enthalten $\frac{2}{3}$ bis $\frac{3}{4}$ ihres Gewichtes davon. In den jüngeren Pflanzentheilen ist der Wassergehalt noch bedeutender (80 bis 90 Proc.) Bayen fand in einem jungen Cactusstengel sogar 95 Proc. Wasser und Wagner in der *Tradescantia zebrina* 95,19 Proc. Selbst die Stämme der Bäume, wie z. B. Eichen, Pappeln, Ulmen etc. enthalten beim Fällen 45 bis 50 Proc. Wasser.

Wie das zum häuslichen Gebrauch bestimmte Wasser von seinen Unreinigkeiten befreit werden kann, ist bereits in d. Art. Filtriren, Bd. III. S. 203 mitgetheilt. — Bei den Wasserleitungen, welche das Wasser bis in die Häuser führen, bedient man sich häufig bleierner Röhren. Man machte hierbei die Bemerkung, daß nicht jedes Wasser diese Röhren angriff. Während das eine nach mehreren Tagen einen Bleigehalt von 8 G.-Th. in 10,000 G.-Th. Wasser zeigte, griff ein anderes das Blei gar nicht an oder nur zu gewissen Zeiten. Da dieser Umstand für die menschliche Gesundheit von großem Interesse ist, so wurden hierüber vielfache Untersuchungen angestellt, ohne daß man darüber ins Klare kam. Zumeist wurde dem weichen Wasser die gefährliche Eigenschaft zugeschrieben, das Blei aufzulösen. Als sich aber auch hier bei einer Gelegenheit, wo diese Frage wiederum in England zur Erörterung kam, Ausnahmen ergaben, stellte Medley von Neuem Untersuchungen an. Er will hierbei zu dem interessanten Resultat gelangt sein *), daß der Stickstoff, welcher sich in irgend einem unreinen Wasser befindet, unter gewissen Umständen äußerst schnell in Ammoniak umgewandelt wird, von welchem dann ein Theil durch den Sauerstoff der Luft zu salpetriger Säure oxydirt wird, welche hierauf mit dem noch vorhandenen Ammoniak salpetersaures Ammoniak bildet. Diese Verbindung ist es nun, welche dem destillirten und dem gewöhnlichen Wasser die gefährliche Eigenschaft, das Blei aufzulösen, ertheilt. Es bildet sich lösliches salpetersaures Bleioxyd, das in Berührung mit der Luft durch deren Kohlen säuregehalt in unlösliches kohlen saures Bleioxyd umgewandelt wird, während die freigewordene salpetrige Säure von Neuem ihre Wirkung auf das Blei auszuüben beginnt.

Auf Eisen wirkt ein solches Wasser ganz ähnlich. Das von der salpetrigen Säure gelöste Eisen wird zuerst von dem freien Ammoniak als grünliches Drydul niedergeschlagen, welches nach und nach in voluminöses braunes Dryd übergeht. Enthält ein solches Wasser zugleich organische Substanzen in feiner Vertheilung, so werden dieselben durch das niedersinkende Eisenoxydhydrat ebenfalls mitgerissen, also das Wasser dadurch gereinigt. Daß Eisen das Wasser beim Aufbewahren vor Fäulniß schützt war schon früher bekannt.

Die Entstehung des Ammoniaks ist am leichtesten wohl aus der Verwesung der in dem Wasser enthaltenen stickstoffhaltigen Substanzen zu erklären. Nach Schönbein besitzt der gewöhnliche Sauerstoff die Eigenschaft das Ammoniak bei Gegenwart gewisser Metalle in salpetrigsaures Ammoniak umzuwandeln. Er führt zwar nur Platin und Kupfer an, aber sicher bewirken alle Metalle, wenn auch in einem geringeren Grade dasselbe.

Gußeiserne Röhren haben sich bei Wasserleitungen auch nicht als vortheilhaft herausgestellt. Sehr häufig werden sie durch Ablagerung von Eisenoxydhydrat so

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLIV. S. 283.

verengt, daß schon nach wenigen Jahren ein Abbruch des hindurchströmenden Wassers sich sehr bemerklich macht. Aus diesem Grunde mußte die gesammte Leitung in Paris schon nach 30 Jahren entfernt und durch eine neue ersetzt werden. Außerdem werden die in der Erde liegenden eisernen Röhren auch von außen durch den Rost verzehrt, so daß ihre Dauer ohne den eben erwähnten Umstand höchstens nur 60 bis 70 Jahre währt. In neuerer Zeit werden daher Röhren aus gebranntem Thon, deren sich schon die Römer bedient haben sollen, sehr empfohlen; ebenso auch Röhren aus Cement. Hölzerne Röhrenleitungen geben dem Wasser sehr oft einen modrigen und widrigen Geruch und Geschmack.

Im gewöhnlichen Leben unterscheidet man weiches und hartes Wasser. Das letztere ist zu dem häuslichen und manchem gewerblichen Gebrauch nicht geeignet. Gewisse Speisen, namentlich Hülsenfrüchte, lassen sich in hartem Wasser nicht weich kochen und da es außerdem die Eigenschaft besitzt, die Seife unlöslich zu machen, so läßt es sich auch nicht zum Waschen gebrauchen oder wenigstens führt es Verluste an Seife herbei. Alle diese ungünstigen Eigenschaften des Wassers rühren her von dem Gehalt an Kalk- und Magnesiumsalzen. Je nachdem diese Basen an verschiedene Säuren gebunden sind, zeigen sie eine verschiedene Löslichkeit im Wasser und daher haben wir die Gesamthärte, die temporäre und die bleibende Härte zu unterscheiden. Kalk und Bittererde an Schwefelsäure und Chlor gebunden sind in Wasser löslich, die kohlensauren Salze dagegen sind in Wasser unlöslich. Letztere werden nur durch die in dem Wasser stets enthaltene Kohlensäure aufgelöst. Wird diese durch Kochen oder durch Stehenlassen an der Luft entfernt, so fallen auch die genannten kohlensauren Salze als unlöslich nieder. Dadurch verliert also das Wasser einen Theil seiner Härte.

Die Bestimmung der Härte des Wassers ist für den häuslichen und technischen Gebrauch oft von Wichtigkeit. Am geeignetsten hierzu ist die von Clarke angegebene Methode. Bringt man eine Auflösung von Seife in Weingeist mit reinem, also destillirtem Wasser zusammen und schüttelt die Mischung tüchtig, so bedarf es nur einer sehr geringen Menge der ersteren, um einen Schaum hervorzubringen, der sich 10 bis 15 Minuten lang hält. Nimmt man aber natürliches Wasser, so braucht man eine größere Menge der Seifenlösung, die abhängig ist von dem Gehalt an Kalk- und Bittererdesalzen. Der Schaum entsteht nicht eher, bevor nicht diese Salze durch die Seife gefällt worden sind. Je mehr man also von ein und derselben Seifenlösung verbraucht, um den Schaum hervorzurufen, um so härter ist das Wasser. — Die Clarke'sche Methode ist von Moser*) und Gehling**) geprüft; sie giebt bei Beobachtung gewisser Vorsichtsmaßregeln ziemlich genaue Resultate.

Will man sich versichern, ob das Wasser organische Substanzen enthält, so mischt man denselben einige Tropfen einer Goldchloridlösung hinzu und kocht dann einige Zeit das Gemisch. Ist die Menge der organischen Substanzen nur eine geringe, so verändert sich die gelbliche Farbe nicht. Weht diese aber in bräunlich, bläulich violett über und wird sie nach längerem Kochen ganz dunkel, dann ist die Menge der organischen Substanzen so groß, daß man besser auf den Gebrauch eines

*) Berichte der Wien. Acad. 1858. April S. 484.

**) Pharm. Centralbl. 1852. S. 313. Vergl. ferner Phil. Mag. [3] Vol. XXXVII. p. 171 und Compl. rend. TXXI. p. 271.

solchen Wassers verzichtet. Die organischen Substanzen geben bei der Aufbewahrung des Wassers nicht allein zur Entstehung von Schwefelwasserstoffgas, sondern auch zu der der flüchtigen fetten Säuren Veranlassung. So fand z. B. *Kraut* *) in dem Wasser eines kleinen hannöverschen Baches, der in einer bruchigen, moorigen Gegend entspringt, dessen Wasser aber fast farblos und nur leicht durch schwebende Theile getrübt ist, Capron- und Buttersäure.

Um dem Wasser seine Härte zu benehmen, hat man verschiedene Mittel vorgeschlagen. Rührt die Härte von kohlensauren Erden her, so können diese dadurch entfernt werden, daß man das Wasser eine Zeitlang an der Luft stehen läßt. Schneller kommt man zum Ziel durch einen Zusatz von Kalkmilch oder Kalkwasser. Die freie Kohlensäure verbindet sich mit dem zugesetzten Kalk und dadurch fallen auch die vorher gelösten kohlensauren Erden mit nieder. Außerdem erlangt das so behandelte Wasser eine für die Aufbewahrung sehr wichtige Eigenschaft. Es kann nämlich alsdann Monate lang der Sonne und dem Lichte ausgesetzt werden, ohne daß sich darin Conserven bilden, was sonst sehr schnell geschieht und dann leicht eine Fäulniß des Wassers herbeiführt. Diese Reinigungsmethode ist bereits bei verschiedenen englischen Wasserwerken im Großen zur Anwendung gebracht. *Thomson* hat das auf diese Art behandelte Wasser der Watford- und Plumsteadwerke untersucht **). Bei dem ersteren wurde der feste Rückstand von 32 auf 11,47 und bei dem zweiten von 44,14 auf 26,1 in 100,000 G.-Th. Wasser vermindert. Entfernt wurden neben den kohlensauren Erden auch noch Thonerde und Phosphate und zwar in dem Watfordwasser die kohlensauren Erden von 21,45 bis auf 1,3 und in dem Plumsteadwasser von 18,33 bis auf 1,14. — Rührt dagegen die Härte von an und für sich löslichen Salzen her, so können diese durch Soda oder Pottasche entfernt werden. Trübes Wasser läßt sich leicht durch Zusatz von Alaun klären; doch kann man das Filtriren nicht gut ersparen.

Da auch das Regenwasser (s. Bd. V. S. 610) verschiedene Salze aufgelöst enthält, so muß vollkommen reines Wasser, das für den Chemiker unentbehrlich ist und auch bei verschiedenen technischen Operationen gebraucht wird, künstlich — durch Destillation — bereitet werden. Die Blase, in der diese Operation vorgenommen wird, muß auf das Sorgfältigste gereinigt werden und ebenso das Kühlrohr, welches aus Zinn angefertigt sein muß und kein Bleiloth enthalten darf. Das zuerst übergehende Wasser enthält die Kohlensäure, so wie auch Spuren von Ammoniak und muß deshalb verworfen werden. Will man das destillirte Wasser durchaus frei von Ammoniak haben, so muß man Aepfalkali in die Blase thun. Auch hier ist natürlich das zuerst übergehende Wasser zu verwerfen. Enthält das Wasser Chlormagnesium, so geht Salzsäure mit über. Um dies zu vermeiden, setzt man dem Wasser vor der Destillation Kalk zu.

Vollkommen reines Wasser muß farblos, geruch- und geschmacklos sein und beim Verdampfen keine Spur eines Rückstandes hinterlassen. Auf Zusatz von Reagentien darf darin keine Veränderung erfolgen.

Das Meerwasser, dessen chemische Beschaffenheit bereits Bd. IV. S. 989 erörtert worden, übt, innerlich gebraucht, einen sehr verderblichen Einfluß auf den menschlichen Körper aus. Da die Versorgung der Schiffe, namentlich wenn

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. CIII. S. 29.

**) Quart. Journ. of the chemic. soc. Vol. VIII. p. 97.

viele Menschen an Bord sind und die Fahrt sehr lange währt, mit sehr ernsten Nebelständen verknüpft ist und oft mitten in der Hölle des Wassers großer Wassermangel eintritt, so ist die Frage, wie das Meerwasser trinkbar zu machen sei, für den Seefahrer von der größten Wichtigkeit. Ueberhaupt würde man es sehr gern sehen, wenn man nicht nöthig hätte, sich mit unnötigem Ballast zu beladen, sondern in den Stand gesetzt wäre, das Wasser für den Gebrauch an Bord ganz beliebig, je nach dem Bedarf während der Fahrt selbst bereiten zu können. Dieser Gedanke hat daher unternehmende Köpfe schon lange beschäftigt. Schon die ältesten Seefahrer wußten, daß man, wenn man Seewasser erhitzte und die Dämpfe mit einem Schwamm auffing, süßes Wasser erhielt. Bacon führt ein Mittel an, wie man sich an der Küste der Barberei Trinkwasser bereitet. Man gräbt ein Loch in den Seestrand etwas über dem Fluthstande des Wassers, so tief wie der Stand der Ebbe. Indem nun das Seewasser durch das Erdreich hindurchsickert und sich in diesen Löchern ansammelt, läßt es seine Salze in jenem zurück. Bacon wiederholte diesen Versuch und er erhielt wirklich trinkbares Wasser als er Meerwasser durch 20 mit Erde gefüllte Gefäße hindurch filtriren ließ.

Alle Mittel, die in neuerer Zeit angegeben sind, um das Seewasser trinkbar zu machen, laufen auf die Destillation hinaus. Einen eigenen Destillationsapparat auf den Schiffen aufzustellen, ist nicht thunlich und dann auch zu kostspielig. Man muß das destillierte Wasser nebenbei gewinnen. So haben Peyra und Rocher einen Apparat construirt, der als Schiffsküche zu gebrauchen ist und nebenbei destilliertes Wasser liefert. Eine französische Corvette mit 228 Mann Besatzung wurde mit diesem Apparat versehen. Sie verbrauchte täglich 598 Quart Wasser und für die Küche wurden täglich 112 Pfund Steinkohlen gut gethan. Mit einem Zuschuß von 32 Pfund Brennmaterial bereitete man in 10 Stunden 628 Quart destilliertes Wasser, also mehr als man verbrauchte.

Für sich aber ist das destillierte Wasser ebenso wenig zu gebrauchen als das Meerwasser. Man muß daher Luft hineinbringen und geringe Mengen von Kalksalzen und Kochsalz. Für den ersteren Zweck bedient man sich in der Regel eines Ventilators. —

Das Wasserstoffhyperoxyd (HO^2) wurde 1818 von Thénard entdeckt. Die Darstellung desselben ist sehr umständlich. Man bringt Baryumsuperoxydhydrat ($\text{BaO}^2 + \text{HO}$) mit Chlornasserstoffsäure und Wasser zusammen. Durch Zusatz von verdünnter Schwefelsäure wird das Baryumsuperoxydhydrat zerlegt; es bildet sich schwefelsaurer Baryt, der sich als unlöslich ausscheidet. Das zweite Äquivalent Sauerstoff wird hierbei frei; es entweicht aber nicht als Gas, sondern verbindet sich mit dem Hydratwasser zu Wasserstoffsuperoxyd, das in dem sauren Wasser gelöst bleibt. Die Chlornasserstoffsäure dient wiederum zur Auflösung einer neuen Menge von Baryumsuperoxyd, die gleichfalls zerlegt wird. Man wiederholt diese Operation mehrere Male bis eine hinreichende Menge von Wasserstoffsuperoxyd gebildet worden ist. Dann schafft man die Salzsäure durch vorsichtiges Zusetzen einer Lösung von schwefelsaurem Silberoxyd fort und die Schwefelsäure durch Aegbaryt. Man muß aber bei der ganzen Bereitung ein Erwärmen der Flüssigkeit vermeiden und daher zur Abkühlung Eis anwenden. — Weniger umständlich ist die Bereitung, wenn man nach Pelouze zur Zersetzung des Baryumsuperoxydes Flußsäure anwendet und das unlösliche Fluorbaryum abfiltrirt.

Die verdünnte Lösung des Wasserstoffsuperoxydes concentrirt man unter der Luftpumpe über Schwefelsäure, bis sie ein spec. Gew. von 1,452 zeigt.

Das Wasserstoffsuperoxyd ist eine farblose öartige Flüssigkeit, die höchst merkwürdige Eigenschaften besitzt, obgleich sie dem Wasser dem äußeren Aussehen nach ähnlich ist. Die Flüssigkeit besitzt einen zusammenziehenden, metallischen Geschmack und einen eigenthümlichen Geruch; bei -30° gefriert sie noch nicht. Sie bleicht und greift die Haut an und zerstört die organischen Farben augenblicklich. Das Wasserstoffsuperoxyd ist sehr wenig beständig; schon bei $+15^{\circ}$ zerfällt es in Wasser und Sauerstoff. Plötzlich bis auf 100° erhitzt, findet die Abgabe des zweiten Aequivalent Sauerstoffs unter Explosion statt. Durch Verdünnen mit Wasser oder durch Zusatz einer stärkeren Säure kann eine größere Haltbarkeit erzielt werden; Alkalien dagegen beschleunigen die Zersetzung.

Sehr merkwürdig ist das Verhalten gegen Metalle und Metalloxyde. Viele derselben bewirken durch bloße Berührung eine plötzliche Zersetzung, bei der eine beträchtliche Hitze frei wird. Einige Oxyde, wie z. B. Kalk, Strontian, Wismuth und Kupferoxyd nehmen hierbei den frei werdenden Sauerstoff auf und verwandeln sich in Superoxyde. Silber- und Goldoxyd geben dabei gleichfalls ihren Sauerstoff ab und werden zu Metall reducirt. Mangansuperoxyd giebt in Berührung mit Wasserstoffsuperoxyd ebenso wie dieses die Hälfte seines Sauerstoffs ab und wird in Manganoxydul verwandelt. Diese Zersetzung erfolgt genau nach bestimmten Proportionen, so daß je 1 Aequiv. von beiden gleichzeitig zersetzt werden.

Könnte man das Wasserstoffsuperoxyd auf leichtere und wohlfeilere Art darstellen, so würde es in der Industrie eine wichtige Rolle als Bleichmittel spielen. Bis jetzt aber findet es nur eine sehr beschränkte technische Verwendung. Man gebraucht es nämlich um alte Oelgemälde zu restauriren. Die dunkle Farbe derselben rührt zumeist von der Umwandlung des Bleiweiß in Schwefelblei her. Bringt man mit letzterem Wasserstoffsuperoxyd zusammen, so wandelt sich die schwarze Farbe in weiß um, da aus dem Schwefelblei schwefelsaures Bleioxyd geworden ist.

Baumert hat nachgewiesen, daß in dem durch Elektrolyse dargestellten Ozon sowohl Wasserstoff als Sauerstoff enthalten sei. Er ist der Ansicht, daß das Ozon ein drittes Oxyd des Wasserstoff von der Formel HO^3 sei. Nach ihm soll das durch den elektrischen Funken aus vollkommen reinem Sauerstoff dargestellte Ozon, sobald es mit feuchter Luft zusammen kommt, das Wasser derselben zu HO^3 oxydiren. W. B.

Wasserzichen ist ein eigenthümliches, nicht selten vorkommendes Lichtmeteor, welches sich zeigt, wenn die Sonne hinter einem Gewölk steht, das im Begriff ist, Regen zu ergießen, und durch einige Oeffnungen desselben hindurchscheinend die Luft beleuchtet. Die Wassertropfchen reflectiren dann das Licht und es erscheinen Streifen, welche lichter sind als ihr Grund. Diese Streifen scheinen sich hinter der Wolke zu vereinigen und gegen die Sonne hin zu convergiren. Dieses Phänomen zeigt sich im Sommer häufiger als im Winter, und bei niedrigem Sonnenstande öfter als bei hohem. Selten ereignet es sich, daß man Strahlen sieht, die von einem der Sonne gerade entgegengesetzten Punkte des Firmaments auszufahren scheinen, aber immer viel schwächer sind, als die vorher erwähnten, obwohl sie

mit diesen gleiche Ursache haben. Die von der Sonne ausgehenden, nach der entgegengesetzten Seite des Firmaments parallel unter einander hinfahrenden Strahlen werden durch Reflexion an den Dünsten der unteren Lustregion ebenso sichtbar, wie die Lichtstrahlen in einem dunklen Zimmer durch Reflexion an den feinen, in der Luft schwebenden Stäubchen. Ihre Convergenz gegen die entferntesten Stellen beruht auf einer bekannten optischen Täuschung.

Weingeist, *Alkohol* (*Spiritus vini*) nennt man eine Flüssigkeit, die durch Destillation aus stärke- oder zuckerhaltigen Substanzen, nachdem diese der Gährung unterworfen worden sind, gewonnen wird.

Wenn auch im Alterthum weingeisthaltige Flüssigkeiten, wie z. B. Wein und Bier bekannt waren, so verstand man doch nicht den Weingeist selbst aus diesen zu gewinnen. Die erste Nachricht, daß man den Wein destillirt habe, findet sich bei *Marcus Græcus*, der im 8. Jahrhundert gelebt haben soll. Seit dem 10. Jahrhundert bereiteten namentlich arabische Aerzte den Weingeist aus Wein; er diente nur als Arzneimittel. Nach Europa kam der Weingeist durch die Araber; besonders sollen es *Arnoldus Villanovanus* und sein Schüler *Raymundus Lullus*, die beide zu Anfang des 14. Jahrhunderts lebten, gewesen sein, welche hier die Kunst der Weingeistbereitung verbreiteten. Auch sie schrieben demselben sehr heilsame Wirkungen zu; bald wurde der Weingeist als Heilmittel für alle Uebel angesehen. Er wurde verordnet zur Vertreibung von Blähungen, bei Herzkrankheiten, Durchfall, Wassersucht, Lähmungen, ja man glaubte sogar, daß er ein Mittel für die Unsterblichkeit sei, wenigstens das Leben über die gewöhnliche Zeit hinaus zu verlängern. Daher stammt der Name *aqua vitae*, Lebenswasser, der bereits in der lateinischen Uebersetzung der Schriften *Geber's* vorkommt.

Zuerst wurde der Branntwein, eine Vermischung von Weingeist mit Wasser, in Italien, namentlich zu Modena bei ergiebigen Weinlesen zu Anfange des 14. Jahrhunderts im Großen bereitet und nach Deutschland ausgeführt, wo er zuerst als Medicin, besonders gegen die Pest und andere ansteckende Krankheiten gebraucht wurde. Sehr bald aber fand man Gefallen an dem Genuß des gebrannten Wassers oder Weines und namentlich soll derselbe ein Lieblingsgetränk der deutschen Bergleute gewesen sein. Der gute Absatz dieses Getränkes veranlaßte auch die Venetianer Branntweimbrennereien anzulegen, deren Absatz besonders den Weg nach der Türkei nahm. Nach anderen Nachrichten *) sollen die Irländer bereits viel früher Liebhaber des Branntweins gewesen sein. Bei der Landung der Engländer unter Heinrich II. in der letzten Hälfte des 12. Jahrhunderts huldigte schon das irische Volk dem Genuß dieser Flüssigkeit, hier *Uaquebough* genannt, in einem hohen Grade; nebenbei galt es auch hier als Stärkungsmittel und sicherster Schutz gegen ansteckende Krankheiten. Es scheint sogar, daß hier der Branntwein, ähnlich wie bei den Türken das Opium, zur Stärkung des Heldenmuthes vor dem Anfange einer Schlacht angewendet wurde, ein Mittel, das auch anders wo heute noch zur Anwendung kommt. Da Irland bis zu dem Einfall der Engländer selbst den zunächst gelegenen Ländern fast ganz unbekannt geblieben war, so ist man der Ansicht, daß die Kunst der Destillation von Indien hierher gelangt sei. Die irische Sprache hat große Aehnlichkeit mit

*) *Muspratt's Chemie*, deutsche Ausgabe. Bd. I. S. 115.

den ursprünglichen Sprachen Asiens, und mit Indien, wo bereits weingeisthaltige Getränke (Arrak oder richtiger Al Rak) zur Zeit Alexanders des Großen im Gebrauch waren, unterhielten die Irländer Verkehr.

Sehr bald fand der Branntwein als Genußmittel weite Verbreitung; in der Mitte des 15. Jahrhunderts war er bereits in Schweden bekannt. Bei dieser Verbreitung reichte der schlechte Wein nicht mehr zur Fabrikation aus. Man benutzte schon jetzt Bier, Weinhefen und Getreide, wenn gleich das letztere hin und wieder verboten wurde. Noch zu Anfange des 17. Jahrhunderts hielt man es in Schwaben für Sünde, aus dem Getreide Branntwein zu bereiten. Seit dem 16. Jahrhundert verwendete man auch allerlei Früchte und Wurzeln, die zum Theil Stärke, zum Theil Zucker enthielten. Die Kartoffeln kamen zuerst in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts an die Reihe und zwar zuerst in Schweden. Allgemein verbreitet und wichtig ist jedoch das Branntweimbrennen aus Kartoffeln erst seit 40 Jahren geworden.

Die nachtheiligen Folgen des Branntweingenußes stellten sich sehr bald ein, so daß Verbote nicht lange auf sich warten ließen. Solche datiren bereits von 1524; befolgt aber sind sie sehr wenig, denn noch heute ist der Branntwein auf dem ganzen Erdenrund ein sehr beliebtes Genußmittel, namentlich bei den unteren Volksklassen.

Bei der Bereitung des Branntweins oder Weingeist (Spiritus) kommt es darauf an, ob die Materialien, aus denen er bereitet wird, den Zucker bereits fertig gebildet oder nur Stärkemehl enthalten, das erst in Zucker umgewandelt werden muß. Die zuckerhaltigen Materialien zerfallen wieder in solche, die gleichzeitig den Gährungsstoff, das Ferment enthalten, also die von selbst in Gährung übergehen und in solche, die dasselbe nicht enthalten, also durch Zusatz desselben in Gährung gebracht werden müssen. Die Zahl der Stoffe, aus denen Branntwein bereitet werden kann, ist sehr groß, im Allgemeinen diejenigen Pflanzentheile, die Zucker oder Stärkemehl enthalten. Die Benutzung derselben richtet sich nach dem Preise, zu dem sie zu haben sind und nach dem Gehalt an den Bestandtheilen, welche den Alkohol liefern. Zu der ersten Klasse, welche neben dem Zucker auch das Ferment enthalten, gehören die Säfte der Trauben und der verschiedenen Obstsorten, sei es Kern- oder Steinobst oder Beeren, also namentlich Aepfel, Birnen, Pflaumen, Kirschen, Stachel-, Johannis-, Him-, Brom-, Hollunder-, Vogelbeeren u., ferner die Säfte der Ahorn- und Birkenbäume, des Zuckerrohrs, der grünen Maisstengel und der Runkelrüben. Zur zweiten Klasse, die zwar Zucker enthalten, aber künstlich in Gährung versetzt werden müssen, gehört der Rohr- und Traubenzucker, der Honig und die verschiedenen Syrupe und Melassen und endlich zur dritten Klasse, den stärkemehlhaltigen Stoffen, die gleichfalls durch Zusatz von Hefe zur Gährung gebracht werden müssen, gehören die Getreidearten, der Reis, Mais, die Hülsenfrüchte, Kastanien, Eicheln u. Die Kartoffeln, heute ein Hauptmaterial für die Bereitung des Weingeistes, bilden wieder eine eigene Klasse, da ihnen derjenige Bestandtheil, der Kleber, welcher die Umwandlung der Stärke in Zucker veranlaßt, abgeht. Endlich können auch bereits gegohrene, Alkohol enthaltende Flüssigkeiten, wie z. B. Wein und Bier auf Weingeist verarbeitet werden.

Die Bereitung des Branntweins aus den stärkemehlhaltigen Stoffen ist die umständlichste. Sie zerfällt in drei verschiedene Operationen: die Umwandlung

der Stärke in Zucker, die Verwandlung des letzteren in Alkohol durch die Gährung und in die Abcheidung des Weingeistes durch die Destillation. Die erste Operation ist wieder verschieden, je nachdem man zur Herstellung der weingahren Maische Getreide oder Kartoffeln verwendet.

Die Getreidearten, die auf Branntwein verarbeitet werden, sind in den verschiedenen Ländern verschieden. In Nordamerika benutzt man meistens Weizen und Mais, in England Weizen und Gerste, in Deutschland hauptsächlich Roggen, weniger Weizen und Hafer. Indessen verarbeitet man nicht gern eine Getreideart für sich, sondern ein Gemenge von zweien und zwar in der Regel einen Theil der einen auf drei Theile der anderen, weil man auf diese Weise eine größere Ausbeute erzielt. Die Umwandlung des Stärkemehles in Zucker wird eingeleitet durch das Malzen oder Keimen des Getreides; doch verwendet man nicht reines Malz, sondern setzt dem Getreide beim Einmaischen nur $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ davon zu. Das Malz wird am besten gequetscht, das Getreide dagegen feingeschrotet. Dann wird das Gemenge beider in Wasser eingeweicht, um möglichst sämmtliches Stärkemehl in Zucker zu verwandeln; hierbei sind von Einfluß die Menge und die Temperatur des Wassers. Da aber in Deutschland die Steuer von dem Maischraum erhoben wird und nicht wie in England von dem Fabrikat, so sucht man möglichst an Wasser zu sparen und nimmt statt 8 Th. desselben in der Regel nur sechs, fünf oder gar nur vier Theile. Man schüttet das Schrot in 40° warmes Wasser und erhöht die Temperatur desselben mittelst siedenden Wassers oder durch einströmende Dämpfe bis auf 65°. Nach $1\frac{1}{2}$ bis 2 Stunden ist die Umwandlung der Stärke in Zucker vollendet, also die Maische zur Gährung geeignet. Man setzt nach einigem Abkühlen kaltes Wasser hinzu, bis das Ganze eine Temperatur von 22 bis 24° angenommen hat. Ein einfaches Abkühlen in den hölzernen Maischbottichen reicht nicht aus, weil dabei die Säuerung, also ein Verlust an Alkohol nicht zu vermeiden ist. Man bedient sich indessen in den besser eingerichteten Brennereien auch der Kühlschiffe, d. h. flacher, eiserner Gefäße, in denen die Abkühlung rascher erfolgt. Um die Gährung in kurzer Zeit zu vollenden, setzt man eine größere oder geringere Menge Bierhefe oder künstliche Hefe, die man sich selbst bereitet, zu, so daß am Morgen des dritten oder vierten Tages die Destillation begonnen werden kann.

Bei Verwendung der Kartoffeln kommt es auf den Gehalt derselben an Stärkemehl an. Den Vorzug haben diejenigen, die in sandigem Lande gewachsen sind, da diese besonders viel Stärkemehl enthalten. Außer den gesunden Kartoffeln kann man auch faule oder gefrorene benutzen, da in diesen das Stärkemehl nicht oder nicht ganz verändert ist. Zunächst werden die Kartoffeln gewaschen und dann in hölzernen Kochbottichen durch Dampf, der zum Theil in der Destillirblase oder in einem eigenen Dampfkessel erzeugt wird, gargekocht und zwar bis zu 3000 Pfd. in einer Stunde. Das verdichtete Wasser fließt am Boden ab. Mittels Quetschwalzen von Gußeisen, Stein oder Holz werden die Kartoffeln zu einem lockeren Mehl zerkleinert. Die Hauptsache ist, daß dies gleichmäßig geschieht, weil größere Stücke sonst bei den folgenden Operationen unverändert bleiben. Auch dürfen die Kartoffeln während des Zerquetschens nicht ganz erkalten, weil sie sonst ihre mehlige Beschaffenheit verlieren.

Beim Einmaischen des Kartoffelmehles ist ein Zusatz von Malz (4 bis 6 Pfd. auf 100 Pfd. Kartoffeln) oder Gerstenschrot (5 bis 7 Pfd.) durchaus erforderlich,

weil sonst die Zuckerbildung nicht vor sich geht. Die Wassermenge ist die $4\frac{1}{2}$ -, 4- oder 3-fache und die Temperatur derselben 60° . Sind die Kartoffeln heißer, so nimmt man kaltes Wasser, um die angegebene Temperatur zu erreichen. Die Zuckerbildung nimmt 1 bis $1\frac{1}{2}$ Stunden in Anspruch und dann wird wie bei dem Getreide ab und zu gekühlt. Das Stellen der Maische, d. h. das Zusetzen der Hefe geschieht mit einem kleinen Theil der Maische, die man dem Reste erst beimischt, wenn die Gährung bereits eingetreten ist.

In einigen Gegenden Frankreichs hat man in neuerer Zeit die Knollen von *Helianthus tuberosus* (Erdbirne, Topinambour), die hauptsächlich Schleimzucker und Inulin — eine der Stärke ähnliche Verbindung, die leicht in Zucker übergeht, enthalten, mit sehr günstigem Erfolg bei der Spiritusfabrikation verwendet.

Die Gährung muß auf das Möglicste gekräftigt werden, damit Alles, was Alkohol zu liefern im Stande ist, auch wirklich zur Vergährung gelangt. Aber auch hier ist wieder auf die Steuerverhältnisse Rücksicht zu nehmen, da in manchen Staaten gerade von dem Raum der Gährungsbottiche die Abgabe erhoben wird. Meistens ist $\frac{1}{10}$ des Raumes, wegen des Steigens bei der Gährung frei. Es kommt also darauf an das Steigen der Maische bei der Gährung möglichst zu beschränken. Vortheilhaft wäre es hier auch ebenso wie bei der Bierbrauerei nicht die ganze Masse, sondern nur die Flüssigkeit zur Gährung zu bringen, wie dies in England geschieht. Allerdings ist es beim Roggen und den Kartoffeln, die bei uns meistens verarbeitet werden, nöthig, eine klare Würze zu ziehen, es handelt sich jedoch nur darum, wenigstens die gröberen Treber durch ein Sieb zu entfernen. Wie wichtig dieser Punkt ist, geht daraus hervor, daß bei Roggen 35, bei Hafer 58, bei Gerste 40 und bei Kartoffeln 18 Proc. ungelöst bleiben, also keinen Alkohol liefern. Bei dem jetzigen Verfahren, wo man diese Vorsichtsmaßregeln nicht beobachtet, tritt daher noch ein anderer Uebelstand ein, der nämlich, daß die Hefe, die sich bei der Gährung erzeugt, verloren geht, indem sie sich mit den Trebern mischt und von diesen nicht gut getrennt werden kann. Sie muß daher auf andere Weise ersetzt werden, sei es aus Bierbrauereien oder indem man mit der Branntweinbrennerei eigends die Hefenbereitung verbindet oder man überträgt die Gährung einer Würze auf die zu stellende.

Auf den Verlauf der Gährung hat sowohl die Menge als die Beschaffenheit der Hefe großen Einfluß. Die Gährung geht in großen offenen Bottichen vor sich, die am besten 2000 bis 4000 Quart fassen. Meistens sind diese aus Holz angefertigt, weil diese die Wärme am besten zusammenhalten. Große Sorgfalt ist auf die Reinlichkeit zu verwenden, weil die Maische eine große Neigung hat zu säuern. Um die Säure in der Maische zu beseitigen oder unschädlich zu machen, setzt man gemeinhin Soda oder Pottasche hinzu. Bis zum Eintritt der Gährung bleibt der Bottich bedeckt. Eine dicke Maische vergährt regelmäÙiger, als eine dünne, die leicht in die wilde Gährung übergeht.

Zu den Branntweinen, die aus stärkehaltigen Substanzen bereitet werden, gehört noch der Arrak, der zumeist in Ostindien aus Reis bereitet wird. Der Reis wird in einem Fasse mit Wasser übergossen und zum Keimen gebracht. Sobald etwa die Hälfte der Körner oder mehr gekeimt hat, läßt man das Wasser ab und trocknet den Reis. Die übrigen Operationen sind dann der Kornbranntweinbrennerei ganz ähnlich. Oft setzt man dem Reis Palmsaft zu oder bereitet auch den Arrak allein aus dem letzteren. Auf Java, wo sehr viel Arrak bereitet

wird, nimmt man außer dem Balmsaft auch noch Melasse. Aus 62 Th. Melasse, 3 Th. Balmsaft und 35 Th. Reis erhält man 23 $\frac{1}{2}$ Th. Arrak. Der Arrak ist namentlich wegen seines feinen Aroma beliebt. Als der beste gilt der von Goa; auch der auf Batavia bereitete steht in großem Ansehen. Ceylon führt jährlich 15,426 Orhoft Arrak aus, wovon nur 646 Orhoft nach England kommen.

Unter den Branntweinen, die aus zuckerhaltigen Materialien bereitet werden, steht der Rum, ähnlich wie der Arrak seines feinen Aroma wegen, oben an. Ursprünglich wurde er in Ost- und Westindien aus dem Saft des Zuckerrohrs bereitet, jetzt aber benutzt man dazu die Melasse, so wie die sonstigen Abfälle bei der Zuckerrfabrikation, den Schaum, die Niederschläge, die sich beim Kochen erzeugen und das Spülwasser vom Reinigen der Gefäße dazu. Auffallend ist, daß man in China, wo doch viel Zuckerrohr gebaut wird, keinen Rum bereitet. Zunächst läßt man die Flüssigkeit klären durch Ruhe und bringt nur die klare Flüssigkeit (skimmings) nach Zusatz von Melasse und Wasser in Gährung. Hierbei wendet man aber keine Gese an, sondern den geklärten Rückstand von einer früheren Rumdestillation (dunder). Eigentliche Gese kann in dieser Flüssigkeit wohl nicht enthalten sein, da ihre Wirksamkeit sicher durch die Hitze bei der Destillation zerstört worden ist. Man kann daher wohl annehmen, daß bei der hohen Temperatur der Luft, die in diesen Gegenden allgemein herrscht, die Gährung von selbst eintritt. Ein Gefäß mit 4000 Quart braucht 8 Tage, größere bis zu drei Wochen zur vollständigen Vergährung.

Die Mischungen, aus denen der Rum dargestellt wird, sind verschieden. Man nimmt z. B.

skimmings	Melasse	Wasser	dunder
200 Th.	100 Th.	200 Th.	500 Th. oder
360 "	60 "	80 "	500 " oder
300 "	100 "	400 "	200 "

Bei der Destillation wendet man sehr einfache Geräthschaften an. Wegen der hohen Temperatur der Luft erzeugt sich bei der Gährung stets Essigsäure, die bei der Destillation auf den Alkohol einwirkt und Essigäther damit bildet. In kleinen Mengen ertheilt dieser dem Rum zwar ein angenehmes Aroma, aber größere Mengen bewirken doch einen unangenehmen Geschmack. Man sucht daher die Bildung der Essigsäure möglichst zu verhindern, indem man große Aufmerksamkeit auf das Reinigen der Gefäße verwendet oder man entfernt die zuerst übergehenden 3 bis 4 Quart, welche den größten Theil des flüchtigeren Essigäthers enthalten und außerdem auch einen unangenehmen, stark emphyreumatischen Geschmack besitzen. Für sich liefert die Melasse keinen Rum, die Eigenthümlichkeiten desselben sind wohl besonderen Bestandtheilen des Saftes zuzuschreiben. Der Rum, wie er aus der Blase läuft, ist farblos; er wird durch gebrannten Zucker (caramel) gefärbt.

Obgleich schon seit langer Zeit in den warmen Ländern die Spiritusfabrikation mit der Zuckerrfabrikation Hand in Hand geht, fand erstere lange Zeit bei unseren Runkelrübenzuckerrfabrikanten gar keine Beachtung, — ein Umstand, der gerade nicht sehr für die Intelligenz derselben spricht. Ein großer Theil der Melasse, der wegen des Gehaltes an Salzen und anderer Bestandtheile der Rüben nicht als Syrup zu verwerthen war, verursachte den Fabriken eine große Last,

deren Beseitigung noch mit Geldkosten verknüpft war. Hieraus im Gegentheil Gewinn zu ziehen, d. h. Branntwein daraus zu bereiten, fiel Niemanden ein. Wie die Runkelrübenzuckerfabrikation selbst, obgleich eine deutsche Erfindung, bei uns nicht eher in Aufnahme kam, als bis Frankreich vorangegangen war, so war es auch mit der Spiritusfabrikation aus der Runkelrübenmelasse. Allerdings Rum kann man daraus nicht machen, aber den liefert die Zuckerrohrmelasse für sich allein auch nicht.

Bei der Verarbeitung der Rübenmelasse richtet man sein Augenmerk entweder auf die Gewinnung des Spiritus allein oder auch auf die gleichzeitige Gewinnung der in der Melasse enthaltenen Salze; eins beeinträchtigt das andere. Die höchste Ausbeute an Spiritus erzielt man durch eine gehörige Verdünnung mit Wasser, dessen Verdampfung die Gewinnung der alkalischen Salze unvorteilhaft macht. Ueberdies üben diese auf die Gährung einen nachtheiligen Einfluß aus, der durch Zusatz von Schwefelsäure aufgehoben wird. Die Flüssigkeit wird behufs der Gährung mit ungefähr 2 Proc. Hefhefe gestellt. Während der Gährung bleiben die Bottiche verdeckt, um den Zutritt der Luft und die Bildung der Essigsäure zu vermeiden. Will man gleichzeitig die Salze gewinnen, so darf man die Melasse nicht so stark mit Wasser verdünnen; die Gährung ist hier aber sehr heftig. Daber unterbricht man dieselbe, sobald die Temperatur 27° erreicht hat. Man theilt dann die Flüssigkeit in zwei gleiche Theile und fügt dann zu jedem Theile wiederum ein gleiches Volumen Zuckerlösung von 14° Baumé. Die concentrirtere Flüssigkeit liefert eine geringere Ausbeute an Alkohol wie die verdünnte. Dubrunfaut schlägt daher vor auch bei der gleichzeitigen Gewinnung der Salze die Melasse bis auf 8° B. zu verdünnen, indem man die Flüssigkeit, welche bei der Destillation zurückbleibt, anstatt des Wassers zusetzt. Ferner betreibt er die Destillation mit Dampf, der aber gleichfalls aus dem Rückstand der Destillation gewonnen wird. Durchschnittlich erzielt man aus 100 Pfd. Melasse 16 bis 24 Quart Branntwein und 10 bis 14 Pfd. Salze, welche 50 bis 55 Proc. Pottasche enthalten. Häufig verwendet man auch die Melasse als Zusatz bei Getreide oder Kartoffeln.

Wie bedeutende Massen Spiritus auf diese Weise gewonnen werden können, wollen wir an einer einzigen Runkelrübenzuckerfabrik nachweisen. Die Fabrik zu Solowik bei Brünn, durch Robert und Comp., einen der intelligentesten unter den deutschen Runkelrübenzuckerfabrikanten, 1837 errichtet, verarbeitet jährlich circa $1\frac{1}{2}$ Mill. Ctr. Rüben. Die Spiritusbrennerei wurde 1840 eingerichtet. Sie verarbeitet die vom 3. und 4. Product der Centrifugalmaschine entnommene Melasse, die sich auf 12,000 Ctr. jährlich beläuft; dazu kommen noch 7 bis 8000 Ctr. aus anderen Fabriken, und wenn die Conjunction des Preises es erlaubt, auch noch Getreide. Der Gährungsbottiche sind 8 vorhanden, von denen täglich zwei abdestillirt werden. Ein jeder Bottich faßt über 9010 Quart. Täglich werden 1235 Quart Spiritus von 94 Proc. gewonnen.

Die Krankheit, von der die Kartoffeln einige Jahre hindurch befallen wurden, bedrohte die Branntweinbrennerei sehr ernstlich. Man mußte den Betrieb einschränken oder auch gänzlich einstellen. Man sah sich daher genöthigt, andere stärkemehl- oder zuckerhaltige Materialien ins Auge zu fassen und unter diesen erschien die Runkelrübe als der geeignetste Ersatz für die kranke Kartoffel. In Frankreich hat die Verarbeitung der Runkelrüben auf Branntwein und Spiritus bereits eine große Ausdehnung gewonnen. Die Pariser Industrieausstellung von

1855 brachte bereits 23 Aussteller mit Rübenspiritus; davon gehörten 18 dem Departement du Nord an. In Belgien kam sie im Winter 1855 nur vereinzelt vor und in Deutschland hat sie bis jetzt ebenfalls keine sehr willige Aufnahme gefunden. Indessen macht Württemberg eine Ausnahme; die Brennerei zu Hohenheim verarbeitet seit 1852 regelmäßig Munkelrüben, die seitdem in den kleineren Brennereien des Landes das Hauptmaterial bilden. Seit 1856 wird die Spiritusfabrikation aus Munkelrüben in Württemberg in einer solchen Ausdehnung betrieben, daß sie der französischen zur Seite gestellt werden kann.

In den französischen Brennereien gewinnt man den Saft der Rüben durch Reiben, Pressen oder Maceriren. In den kleineren Brennereien Württembergs dämpft man die Rüben wie die Kartoffeln, zerdrückt sie zwischen Walzen und bringt sie nach dem Abkühlen durch Zusatz von Bierhefe in Gährung. Diese Methode eignet sich für die kleinen Brennereien am besten; sie gewährt den reichsten Ertrag an Branntwein und ein vortreffliches Futter, das sich wie die Kartoffelschlempe besonders zur Verbesserung anderer Futterarten eignet und sowohl auf die Fleisch- als Milchproduction günstig einwirkt. Für den größeren Betrieb ist die Saftgewinnung vortheilhafter; besonders hat sich zu Hohenheim die Maceration bewährt. Die Rückstände werden gleichfalls vom Vieh gern gefressen; ihr Futterwerth stellt sich auf die Hälfte von dem der frischen Rüben.

Allerdings wird die Fabrikation dadurch vereinfacht, daß der Zucker, der bei der Gährung in Alkohol übergeht, bereits fertig gebildet in dem Saft der Munkelrüben enthalten ist, aber gleichzeitig kommen darin noch andere Stoffe vor, welche die Ausbeute an Alkohol beeinträchtigen. Die schädlichsten Bestandtheile sind die stickstoffhaltigen, welche sehr leicht eine Säuerung und ein Fäbwerden des Saftes bewirken. Diese müssen daher schnell abgeschieden oder zerstört werden; das geeignetste Mittel ist eine Erhitzung und zwar der zerhackten Rüben vor der Auslaugung bis auf 70° R. unter Zusatz von 1 Pfd. Schwefelsäure auf 10 Ctr. Rüben. Der geklärte und abgekühlte Saft wird dann zur Gährung gebracht. Die Klärung wird durch Erhitzung bis zum Sieden nach Entfernung der Rübenschnitte, so wie durch den Zusatz der Schwefelsäure bewirkt. Sollte sich der Saft nicht klären wollen, so setzt man von Neuem Schwefelsäure zu. Auf diese Weise erlangt man eine regelmäßige Gährung und eine günstige Ausbeute an Spiritus, so wie ein reineres Product, eben in Folge des regelmäßigen Verlaufes der Gährung.

In der Hohenheimer Brauerei werden täglich in 14 Stunden bequem 36 Ctr. Rüben verarbeitet und davon ein Gährfaß von 1600 Quart Inhalt gefüllt. Zur Gährung verwendet man nur von Zeit zu Zeit Bierhefe; sonst benützt man dazu den in Gährung begriffenen Saft vom vorhergehenden Tage. Die Gährung ist in 2 oder 3 Tagen vollendet. Die Ausbeute betrug 100 bis 112 Maß (160 bis 179 Quart) Branntwein zu 50 Proc. aus 36 Ctr. Rüben, also 4,4 bis 4,97 Quart aus dem Ctr. Die kleineren Brennereien erzielten meist 4,8 Quart Branntwein von 45 Proc. aus dem Ctr. Rüben.

Der durch Maceration gewonnene Saft läßt sich nach der Gährung wie Most einige Zeit in Fässern aufbewahren. Die Bildung von Essigsäure kam bei der Gährung nie vor, weshalb auch die Gährung ohne Nachtheil bei einer weit höheren Temperatur verlaufen kann als bei Kartoffeln und Getreide. Es ist ein noch immer sehr verbreiteter Irrthum, wenn man glaubt, die Rüben bedürften ebenso

wie die Kartoffeln eines Malzzusages, der bei diesen ja nur deshalb nöthig ist, um das Stärkemehl in Zucker zu verwandeln, während der Rübensaft ja schon Zucker enthält. Bei dem Rübensaft wirkt der Malzzusatz sogar schädlich, indem leicht Säuerung eintritt *).

In den großen Brennereien der Magdeburger Gegend verarbeitet man ein Gemisch von Rüben und Kartoffeln, weil man dadurch aus einem gleichen Gährungsraum mehr Spiritus erzielt. 150 Pfd. Rüben und 100 Pfd. Kartoffeln erfordern einen Gährungsraum von 160 Quart.

Gelbe Möhren können gleichfalls auf Spiritus verarbeitet werden. Das Verfahren würde dem bei Runkelrüben gleichen. 100 Pfd. sollen 2,23 Quart Branntwein von 56 Proc. geben.

In einem geringeren Maße verwendet man auch die zuckerhaltigen Säfte der Kern- und Steinobstes, so wie verschiedener Beeren zur Bereitung von Branntwein. Bekannt ist das Kirchwasser und der Zwetschenbranntwein, welcher letztere namentlich bei den slavischen Völkern sehr beliebt ist. Die Früchte werden einfach zerquetscht und dann der Gährung überlassen. Ein Zusatz von Hefe ist nicht nothwendig, sondern sogar schädlich. Durch die Kerne der Früchte erhalten diese Branntweine den beliebten Geschmack nach Bittermandelöl, das sich durch die Gährung entwickelt und mit überdestillirt. — Die Beeren von *Sorbus aucuparia*, die bekannten Vogelbeeren, die eine eigene Zuckerart (Sorbin) enthalten, liefern einen sehr guten Branntwein. Man setzt die reifen Beeren der Kälte aus, zerquetscht sie dann und übergießt sie mit kochendem Wasser. Die Gährung erfolgt mit Zusatz von Hefe.

Die hohen Spirituspreise in den letzten Jahren, veranlaßt theils durch das öftere Mißrathen der Kartoffeln, die das wichtigste Material für die Branntweimbrennerei abgeben, theils durch die hohen Preise des Getreides, die ein Verbot der Verwendung desselben zur Spiritusfabrikation zur Folge hatten, endlich durch die ebenfalls mehrere Jahre dauernde Traubenkrankheit, welche die Bereitung des Branntweins aus dem Weine im südlichen Frankreich in manchen Jahren fast auf Null reducirte, sind die Ursache, daß man auf manche Stoffe sein Augenmerk gerichtet hat, an die man früher kaum dachte. Dahin gehören neben den Runkelrüben auch die Krappwurzeln (*Rubia tinctorum*). Diese enthalten eine bedeutende Menge Zucker, der beim Färben nachtheilig wirkt und deshalb entfernt werden muß. Die getrockneten Wurzeln werden auf Mühlen vermahlen und das Pulver dann in Bottichen mit dem 3- bis 4-fachen Wasser digerirt bei 18 bis 20° R. Die ausgepresste Flüssigkeit klärt sich in der Ruhe und der klare Abzug geht theils selbst in Gährung über, theils hilft man durch einen Zusatz von Hefe nach. Die Gährung geht bei einer Temperatur von 30 bis 34° R. rasch von statten; sie ist in der Regel binnen 18 bis 22 Stunden vollendet. In Frankreich existiren bereits mehrere Fabriken der Art, ebenso in England (Glasgow). In Glasgow erhielt man aus 2 Tonnen Krapp 238 Quart Spiritus von 92,5 Proc., also aus 100 Pfd. 5,86 Quart. Auch in Deutschland wird dergleichen Spiritus be-

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLII. S. 142. — Gräpeldinger, die Runkelrüben-Spiritus-Fabrikation. 2. Auflage. Berlin 1854. — Payen, Traité de la distillation de betteraves. Paris 1854. — Dubrunfaut, Traité de l'art de la distillation. Paris 1824.

reitet, wenigstens existirt in Speyer eine Fabrik, in der täglich gegen 10,500 Quart Flüssigkeit abgetrieben werden. Man versichert hier indeß, daß die Gewinnung dieses Nebenproductes nur so lange lohne, als die hohen Preise des Spiritus andauern. Die Maische ist nämlich sehr schwach und nimmt deshalb viel Brennmaterial in Anspruch. Sicher ließe sich in dieser Beziehung durch Anwendung des Macerationverfahrens wie bei den Rüben eine große Ersparniß erzielen. Nach einem Versuch im chemischen Laboratorium zu Hohenheim lieferten 50 Grm. frische Krappwurzeln (mit 18,9 Proc. trockner Substanz) 0,607 Grm. reinen Alkohol, was 1,214 Proc. der frischen oder 6,423 Proc. der trockenen Wurzeln entspricht.

Die bereits angeführten, für die Spiritusfabrikation sehr ungünstigen Umstände haben dazu beigetragen, daß in der neueren Zeit viel von einer neuen Zuckerpflanze, Zuckermohrhirse oder Sorgbo (*Molens saccharatum*) die Rede gewesen ist. Diese Pflanze, die 7 bis 8 Fuß hohe Stengel treibt und große Ähnlichkeit mit dem Mais hat, stammt aus China. Sie soll bereits zu Anfange unseres Jahrhunderts in Italien bekannt gewesen sein, aber man hat ihre Cultur dort wieder aufgegeben. 1851 schickte der französische Consul in Schanghai Samen davon nach Frankreich mit der Bezeichnung: Zuckerrohr aus Nordchina. Seitdem sind damit im südlichen Frankreich vielfache Versuche im Großen angestellt worden, namentlich zu dem Zwecke, um aus dem Saft der Stengel Alkohol zu bereiten. Seit 1857 existiren dort auch schon bedeutende Brennereien, welche den Saft dieser Pflanze benutzen. Leplap hat in weniger als 2 Monaten in 2 großen Brennereien über 520,000 Etr. von dieser Pflanze verarbeitet *). Der Anbau war in der Umgegend von Toulouse, Montauban, Carcassonne und Narbonne in angeschwemmtem Boden erfolgt. Zahlreiche Versuche lieferten ihm das Resultat, daß die Quantität fester Stoffe in den Sorgkostengeln bis zur Reife des Samens fortwährend zunimmt, in welcher Bodenart die Pflanze immerhin gewachsen sein mag. Die zur Reife gelangten Stengel geben 27 bis 30 Proc. feste Stoffe und 70 bis 73 Proc. Wasser, die unreifen 18 bis 20 Proc. der ersteren und 80 bis 82 Proc. Wasser. Dabei ist jedoch der unlösliche Holzstoff stets in einem fast gleichen Verhältniß vorhanden (8,75 bis 9,80 Proc.), die Zunahme der festen Substanz erstreckt sich vornämlich auf den Zucker. Der höchste Zuckergehalt tritt mit dem reifen Samen ein, sobald aber die Reife überschritten wird, geht der Zuckergehalt zurück. Ein schwärzlicher, nicht hart gewordener Same und dabei ein noch vollkommen grüner Stengel entsprechen dem höchsten Zuckergehalt. Ausgetrocknet indessen lassen sich die Stengel ohne Nachtheil aufbewahren.

Bis zur Reife hin geht mit dem Zucker selbst eine Veränderung vor. Während in dem Saft nicht reifer Stengel das Saccharometer wenig oder keinen Zucker anzeigte, weist die Gährung darin 32 bis 100 Grm. und mehr pro Liter nach. In dem Maße als sich der Same bildet, nimmt die Drehung der Ebene des polarisirten Lichtes nach rechts zu und endlich, nachdem der Same zur vollständigen Reife gelangt, ist der durch die Drehung nach rechts angezeigte Zuckergehalt nur um sehr wenig kleiner als der Zuckergehalt, welchen in demselben Saft die Gährung ergiebt. Zu dieser Zeit erhält der Sorgbo fast ausschließlich krystallisirten Zucker und oft mehr als 15 Proc. seines Gewichtes.

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLVIII. S. 224.

Auch in Württemberg sind mit dieser Pflanze Versuche angestellt worden; doch zur Reife kamen die Samen nicht immer. Für einen württembergischen Morgen sind 1 bis $1\frac{1}{2}$ Sack Samen erforderlich, also für einen preuß. Morgen 5,19 bis 7,78 Meß, nach anderen Angaben 3 Pfd., die wenig über 1 Thlr. kosten. Nach Versuchen im Kleinen erhielt man in Württemberg für den preuß. Morgen 400 Ctr. Stengel, die 60 Proc. Saft mit einem Zuckergehalt von 14 Proc. lieferten; das wären 33,6 Ctr. Zucker. Ob es gelingen wird diese Pflanze bei uns einheimisch zu machen, steht dahin. Sie erfordert einen wärmeren Stand als Mais.

Unter den weiteren Vorschlägen, die in Folge des Siechthums unter den Kartoffeln gemacht worden sind, um der Branntweinnoth abzuhelpen, verdient namentlich einer insofern Beachtung, als dadurch ein wichtiges Nahrungsmittel, wie wir leider die Kartoffel nennen müssen, mehr oder weniger für die Spiritusfabrikation entbehrlich gemacht werden soll. Schon lange ist bekannt, daß die Cellulose (Holzfaser) sich durch Behandlung mit concentrirter Schwefelsäure in Zucker verwandelt. Jene ist daher in neuerer Zeit durch Arnould *) und Tribouillet **) zur Gewinnung von Weingeist empfohlen worden. Ersterer trocknet die Sägespäne, um das Wasser, das oft die Hälfte des Gewichtes ausmacht, zu entfernen. Auf 100 Th. trocknes Holz werden 110 Th. Schwefelsäure gegossen, die 12 Stunden wirken. Die Masse wird fleißig umgerührt, bis sie, die anfangs fast trocken war, flüssig geworden ist. Dann wird Wasser hinzugesetzt und die Säure durch Kreide entfernt. Nach dem Abseihen läßt man die Flüssigkeit gähren. Nach Arnould sollen auf diese Weise von gewissen Fasern 97 Proc., von gewissen Holzarten 75 bis 80 Proc. in Zucker verwandelt werden.

Da die Schwefelsäure hierbei fast gar nicht verändert wird, so schlägt Tribouillet, um die Darstellungskosten zu vermindern, vor, das ganze Gemenge, sobald die Holzfaser in Zucker verwandelt worden ist, in den Stearinkerzenfabriken zur Zerlegung der Kalkseifen zu benutzen. Die fetten Säuren gehen an die Oberfläche und werden nach dem Erkalten entfernt und der schwefelsaure Kalk fällt zu Boden. Die zuckerhaltige Flüssigkeit wird von dem Gyps abgezogen und dann zur Gährung gebracht.

Melsen hat zahlreiche vegetabilische Stoffe (junge Baumschößlinge, Gerüste, Heidekraut, Blätter, Stroh, Stoppeln, Schwämme, Spreu, Malzkeim, Rückstände der Brauereien, Korn- oder Munkelrübenbrennereien, den ausgepreßten Rübenbrei der Zuckersabriken, die Rückstände der Stärkesabriken, vom Brechen des Flachs und Hanfs, erschöpfte Gerberlohe, erschöpfte Wurzeln und Hölzer der Färbereien und Apotheken, altes Tapetenpapier, Maculatur, Lumpen u.) zur Branntweinfabrikation vorgeschlagen. Statt der concentrirten Schwefelsäure wendet er verdünnte an (3 bis 5 Th. Säure auf 100 Th. Wasser), deren Wirksamkeit er durch hohe Temperatur (180 bis 200° C.) unterstützt. Die Umwandlung der Holzfaser in Zucker wird in einem mit Blei ausgefütterten papinianischen Topf vorgenommen. Vorher läßt man die Substanzen selbst längere Zeit in kaltem oder warmem Wasser liegen oder faulen, also eine ähnliche Gährung durchmachen,

*) Compt. rend. T. XXXIX. p. 807. — Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXIV. S. 219.

**) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXIV. S. 316.

wie die Lumpen nach dem alten Verfahren der Papiersfabrikation. Hierdurch wird das feste Gewebe gelockert, also der Einwirkung der Schwefelsäure zugänglich gemacht. Mellens Verfahren spart nicht allein an Säure, sondern macht auch das Trocknen der Substanzen überflüssig.

Die vorstehenden Nachrichten wurden von der Tagespresse als eine der größten Entdeckungen der jüngsten Tage angesehen und viel Aufsehens davon gemacht, während man sich doch nur darüber wundern kann, daß die bereits vor fast 40 Jahren von Bracconot entdeckte Umwandlung der Holzfaser in Zucker, zu dem noch einer der gewöhnlichsten Vorlesungsversuche, bei den Industriellen sogar keine Beachtung gefunden hat. In Folge der Zeitungsnachrichten, daß in Paris eine Gesellschaft unter Leitung von Belouze diese vermeintliche neue Entdeckung ausbeuten wolle, wurde dem polytechnischen Verein zu München die Frage vorgelegt: „welche Aussichten hat dieser Industriezweig und welche national-ökonomische Bedeutung ist ihm beizulegen?“ Mit der Beantwortung dieser Frage wurde Prof. Dr. Wettenkofer beauftragt. Wenn hier angeführt wird *), daß eine Fläche, welche 90 Ctr. Kartoffeln, die 14 Ctr. Stärkemehl enthalten und 8 Ctr. absoluten Weingeist liefern, trägt, nur auf dem besten Waldgrunde mit 14 Ctr. trocknes Holz, die nur ungefähr 7 Ctr. Weingeist versprechen, bestanden ist, so ist das ein Vergleich der zu gar nichts führt. Nach Schubart trägt der preuß. Morgen durchschnittlich 8 Scheffel Korn oder 100 Scheffel Kartoffeln; jene liefern 150 Quart Branntwein, diese dagegen 800 bis 900 Quart, also durchschnittlich sechs Mal mehr und doch macht man Branntwein aus Korn. Wollte man die Wälder auf diese Art verwerthen, so wäre dies ein viel unglückseligerer Gedanke, als der statt Getreide zu bauen, Zucker zu fabriciren. Daran ist nicht zu denken, daß man Branntwein fabriciren will aus Holz, das zu anderen Zwecken brauchbar ist. Nur die Abfälle sind hier zu benutzen und deshalb wären praktische Versuche im Großen sehr wünschenswerth. Daß es an Material nicht fehlen würde, lehrt der Handel mit Lumpen, Knochen, altem Eisen, Glascherben etc. Ebenso wenig stichhaltig ist die Angabe, daß die Kartoffelbranntweinfabrikation ohne Nachtheil nicht ganz verdrängt werden könne, weil sie eine wichtige Stütze unserer Landwirtschaft sei. Englands Landwirtschaft steht viel höher als die unsrige und doch wird von ihr kein Fusel fabricirt.

Ludwig hat mit Lumpen Versuche im Kleinen angestellt **). 50 Grm. lufttrockne, rein gewaschene Lumpen lieferten 15,001 Grm. oder 30 Proc. absoluten Alkohol. Aus der Formel der Cellulose berechnet sich die Ausbeute auf das Doppelte. Es ist aber zu bedenken, daß die Lumpen nicht reine Cellulose sind.

1854 hat Hoffmann die Queckenwurzeln (*Triticum repens*) zur Weingeistbereitung empfohlen ***). Er kocht die Wurzeln, die eine eigene Zuckerart enthalten sollen, einfach mit Wasser aus und setzt die Flüssigkeit durch Hefe in Gährung. Babourdin dagegen empfiehlt ****) die Wurzeln vorher mit Schwefelsäure zu behandeln, da sie nur beim Keimen Zucker, sonst aber Stärkemehl enthalten. Auf diese Weise erhielt er aus 20 Pfd. Wurzeln 1,75 Quart

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVI. S. 389.

**) Arch. d. Pharm. Bd. LXXXIII. S. 22.

***) Compt. rend. T. XXXVIII. p. 1062.

****) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVIII. S. 438.

Branntwein von 35° Tralles, beim bloßen Ausziehen mit Wasser enthielt dieselbe Menge Branntwein nur 9°, also nur 25,72 Proc. der vorigen Ausbeute.

Wichtiger scheint die Fabrikation des Alkohols aus den Asphodillwurzeln (*Asphodelus ramosus*) werden zu wollen. Diese Pflanze war schon im Alterthum bekannt. Sie wächst im südlichen Europa und Afrika wild, wird aber auch im südlichen Frankreich, Italien, Spanien, Corsika angebaut. Auf der Pariser Industrieausstellung war solcher Alkohol nicht allein aus Sardinien, wie es in Wagner's Jahresbericht über die Fortschritte der chemischen Technologie 1856 S. 225 angegeben ist, vorhanden, sondern mehr noch aus Toskana, Corsika und Algier. Am interessantesten war die Ausstellung der Société Franco-Italienne pour la distillation de l'asphodèle zu Florenz. Außer den wildwachsenden und angebauten Wurzeln von verschiedenen Standorten fand man hier die Zeichnungen der beiden Fabriken zu Ortebello und Porto San Stefano, so wie die ganze Stufenleiter der Fabrikation bis zu dem Papier, das aus den Preßrückständen angefertigt worden, vertreten. Der Anbau wird besonders in den pontinischen Sümpfen und den toskanischen Maremmen betrieben. Der Alkohol war ganz rein; er besaß keinen fremden Geruch und Geschmack. Die Natur des in diesen Wurzeln enthaltenen gährungsfähigen Stoffes ist noch nicht ermittelt. Der Saft giebt nach Clerget *) 8 Volumprocente Alkohol, also doppelt so viel wie der Rübensaft. Getrocknet geben die Wurzeln 3 Proc. weniger Alkohol als die entsprechende Menge der frischen. 25 Pfd. trockne Wurzeln, gleich 100 Pfd. frischen, gaben 2,18 Quart Alkohol.

Außerdem brachte die Pariser Ausstellung noch Alkohol aus der gemeinen Feige (*Cactus Opontia*) und der Dattel aus Algier und aus den Beeren des Erdbeerbaumes (*Arbutus Unedo*) aus Corsika und Toskana. Der Feigenalkohol ist in Frankreich bereits Handelsartikel. 36 Pfd. Feigen geben 6,8 Pfd. Weingeist von 85 $\frac{1}{4}$ ° Tralles, also eine Ausbeute von 18,89 Proc. Auch die österreichische und preussische Abtheilung brachten Neuigkeiten: Alkohol aus echten Kastanien, Mais und Lupinen.

Die Nomadenvölker in den asiatischen Steppen bereiten einen Branntwein aus Milch. Die Kirgisen benutzen Kameelmilch, die Kalmücken und Tartaren dagegen Stuten-, Kuh- und Ziegenmilch. Der Alkohol entsteht hier aus dem Milchzucker, der jedoch durch Zusatz von Käse, Hefe und Sauerteig in Traubenzucker verwandelt werden muß, bevor er in Gährung übergehen kann. Die Milch wird zuerst sauer und geht dann bei fleißigem Schütteln in die Gährung über, die bis zu 3 Tagen in Anspruch nimmt. Theils wird die gezohrene Milch (Kumogöz bei den Tartaren, Tschigan bei den Kalmücken, wenn Stutenmilch, Arjan oder Mirak, wenn Kuhmilch) getrunken, theils wird sie destillirt. Der Branntwein heißt Chorsa und die stärkste Sorte Chor (Gift).

Leylah empfiehlt die Zuckerbildung der Getreidearten durch Kochen mit verdünnter Schwefelsäure statt des Malzens und des Einmaischens zu bewirken**), ein Verfahren, das bekanntlich bei der Umwandlung des Stärkemehls in Traubenzucker angewendet wird. Die Ausbeute soll beträchtlicher sein, bei der Gährung keine Säuerung auftreten und der Spiritus fuselfreier und leichter zu rectificiren

*) Compt. rend. T. XXXIX. p. 907.

**) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVIII. S. 424.

sein. Solcher Syrup läßt sich besonders als Zusatz zu solchen Zuckertlösungen anwenden, welche bei der Gährung eines Zusatzes von Schwefelsäure bedürfen, wie z. B. bei der Runkelrübenmelasse und dem Runkelrübenjaft. Prooman macht auf die Benutzung der Kleien, die sehr leicht in Gährung übergehen, als Ferment aufmerksam *).

Nach Pasteur **) steht das bei der Gährung bisher angenommene Verhältniß zwischen der Zuckermenge und der Summe der Gewichte der Kohlensäure und des Alkohols keineswegs fest. Er hat nämlich gefunden, daß bei der geistigen Gährung stets auf Kosten des Zuckers Bernsteinsäure entsteht und zwar eine Quantität, welche wenigstens $\frac{1}{2}$ Proc. vom Gewicht des gegohrenen Zuckers beträgt. Davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man auch nur einige Grammen gährungsfähiger Substanz angewendet hat, indem man die gegohrene Flüssigkeit abdampft, sie neutralisirt und mit einem Silbersalz fällt; der ausgewaschene Niederlag, durch Schwefelwasserstoff zerlegt, giebt beim Abdampfen Krystalle von Bernsteinsäure. Ein einfacheres Verfahren besteht darin, das Extract der gegohrenen Flüssigkeit mehrmals mit Aether zu behandeln, wo sich dann während der Verdunstung des Aethers nach und nach Krystalle von Bernsteinsäure abheben. Sollte die Krystallisation nicht erfolgen, also die Bernsteinsäure in dem Syrup von Milchsäure, welchen der Aether nach seiner Verdunstung hinterläßt, aufgelöst bleiben, so braucht man nur die beiden Säuren mit Kalk zu sättigen. Der in schwachem Alkohol unlösliche bernsteinsäure Kalk ist leicht vom milchsäuren Kalk zu trennen. Man kann also in Zukunft die Bernsteinsäure sehr leicht aus der Branntweinschlempe darstellen.

Im Widerspruch mit der allgemeinen Annahme behauptet Pasteur ***), daß sich nicht die geringste Menge Milchsäure bei der geistigen Gährung bildet. Wenn man diese Säure vorfindet, so hat neben der geistigen Gährung auch die milchsäure stattgefunden. Man soll dies aus der Hefe, die viel kleinere Kügelchen bildet, erkennen können. Die saure Reaction bei der geistigen Gährung, die man schon seit Lavoisier kennt, soll bloß von der Bernsteinsäure herrühren, die, mit Ausnahme der flüchtigen Säuren, welche sich nur in höchst geringen Mengen bilden, die einzige normale Säure der geistigen Gährung sein soll.

Bei seinen Untersuchungen hat Pasteur noch ein weiteres, sehr merkwürdiges und unerwartetes Resultat gefunden ****), daß nämlich bei der geistigen Gährung neben der Bernsteinsäure auch Glycerin gebildet wird und zwar beide ebenso constant, wie die Kohlensäure und der Alkohol. Das Glycerin läßt sich nicht leicht im reinen Zustande isoliren. Es soll 3 Proc. vom Gewicht des Zuckers betragen. Hiernach wäre der Proceß der Gährung viel complicirter, als man bisher angenommen hat.

Unter den bereits weingeisthaltigen Flüssigkeiten, aus denen man Branntwein bereitet, kommt fast allein nur der Wein in Betracht. In den südlichen Ländern, Spanien, Italien und besonders im südlichen Frankreich — dabei auch der Name Franzbranntwein, — werden große Mengen von schlechteren Weinen auf

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLVI. S. 397.

**) Gbenda Bd. CXLVII. S. 238.

***) Compt. rend. Août 1858.

****) Compt. rend. Mai 1858.

Branntwein verarbeitet, d. h. einfach destillirt. Die Ausbeute hängt natürlich von dem Alkoholgehalt der Weine ab und da dieser wieder durch den Zuckergehalt bedingt wird, so liefern die südlichen Weine mehr Branntwein, weil die Wärme die Entwicklung des Zuckers in den Trauben begünstigt. Schon in Frankreich macht sich dieser Unterschied sehr bemerkbar. Während die Weine an den Küsten des mittelländischen Meeres $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ Branntwein liefern, geben die aus den nördlichen Provinzen nur $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{10}$. Außer dem Alkoholgehalt kommt bei diesen Branntweinen noch der feine Geschmack und Geruch, wodurch sie über dem gewöhnlichen Branntwein aus Getreide und Kartoffeln stehen, in Betracht. Diese rühren von einzelnen Bestandtheilen des Weines her, die, da sie flüchtig sind, bei der Destillation mit übergehen. Die weißen Weine liefern ein feineres Product als die rothen, weil letztere mit den Schalen und Kernen, aus denen sie eine unangenehm schmeckende, öltartige, flüchtige Substanz aufnehmen, gegohren haben. Alle diese Branntweine haben ein eigenthümliches Aroma, so daß jeder Kenner anzugeben weiß, ob der Branntwein in Languedoc, Bordeaux, Armagnac, Cognac, Anis, Rochelle, Orleans bereitet worden ist. Der Cognac ist der feinste; dazu werden nur bessere Weine genommen.

Die Stärke des gewöhnlichen Franzbranntweins variiert zwischen 43 und 59 Proc., man fertigt jedoch auch stärkeren Weingeist an und zwar in 12 verschiedenen Sorten, deren Stärke durch Bruchzahlen ausgedrückt wird. Man zeigt dadurch an, wie viel Wasser dem Alkohol zugemischt werden muß, um Branntwein daraus zu bereiten. So bedeutet z. B. die Bezeichnung $\frac{5}{6}$, daß 5 Th. Alkohol mit 6 Th. Wasser zu mischen ist. Der Franzbranntwein ist von Natur farblos; die gelbliche Farbe desselben rührt aus den Fässern her, in denen er aufbewahrt wird. Neben dem Farbstoff zieht er auch Gerbstoff aus dem Holz aus und nimmt dadurch einen zusammenziehenden Geschmack an. — Die Branntweine aus italienischen, spanischen und portugiesischen Weinen besitzen einen geringeren Werth. Auch aus den Weintrestern und aus den Weinhefen werden beträchtliche Mengen Branntwein angefertigt. Beide werden mit Wasser der Gährung unterworfen. 100 Pfd. Abfälle dieser Art sollen 1 Pfd. Branntwein geben.

Die gegohrene Branntweinmaische enthält nur sehr wenig Alkohol — durchschnittlich etwa 5 Proc.; um diesen von den festen Stoffen so wie von dem Wasser zu trennen, unterwirft man die Maise der Destillation. Früher bediente man sich hierzu einer einfachen Blase, die mit einem Kühlapparat in Verbindung stand. Hier condensirten sich die aus der Blase aufsteigenden Dämpfe, welche als Flüssigkeit dem Apparat ausflossen. Da aber neben dem Alkohol auch viel Wasserdampf mit aufstieg, so erzielt man nur eine wenig Alkohol (15 bis 20 Proc.) enthaltende Flüssigkeit (Lutter, Räuter, Lauer), die durch nochmalige Destillation verstärkt wurde. Zuerst geht hierbei ein stärkerer Spiritus, der Vorlauf und dann ein schwächerer, der Nachlauf über. Der Rückstand in der Blase heißt bei der ersten Destillation die Schlempe und bei der zweiten das Phlegma. Die Schlempe enthält die festen Stoffe der Maise und dient gewöhnlich als Viehfutter oder, da sie stets sauer ist, auch zum Reinigen von metallenen Gegenständen. Ausführliche Untersuchungen über den Futterwerth der Schlempe hat *Mittbhausen* geliefert *).

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVI. S. 289.

In neuerer Zeit hat man vielfache Apparate erdacht, um der mehrmaligen Destillation überhoben zu sein. Man erzielt durch einmaliges Destilliren einen sehr starken Spiritus, wodurch der Transport der fertigen Waare bedeutend wohlfeiler wird. Wasser ist aller Orten zu haben; also die Verdünnung des Alkohol zu Branntwein leicht vorzunehmen. Ueber diese verschiedenen Apparate findet man in Knapp's Lehrbuch der chemischen Technologie Bd. II. und in Muspratt's technischer Chemie (deutsche Ausgabe) Bd. I. Art. Alkohol ausführliche Belehrung.

In neuerer Zeit wendet man bei der Kühlung statt des Wassers Maische an, die dadurch vorgewärmt wird. Dadurch, daß man die Abkühlung besser regulirt, kann man bewirken, daß sich ein Theil der Wasserdämpfe verdichtet und entweder in die Blase zurückläuft oder sich an einem bestimmten Orte ansammelt, während der Alkohol noch dampfförmig bleibt und seinen Weg weiter fortsetzt. Es wird auf diese Weise, namentlich wenn diese Zerlegung der Dämpfe mehrmals stattfindet, bevor das Destillat den Apparat verläßt, eine solche Menge Wasser ausgeschieden, daß man einen Alkohol erhält, der nur noch 8 bis 10 Proc. Wasser enthält. Die Apparate, in denen diese Scheidung des Alkohols vom Wasser vorgenommen wird, heißen Dephlegmatoren. Diese sind mit Maische oder Wasser umgeben, die stets auf einer bestimmten Temperatur erhalten werden. Eine andere Art von Apparaten, um den Weingeist zu verstärken, sind die sogenannten Rectificatoren, Behälter, die zwischen der Blase und dem Kühlgefäß angebracht sind. Die aufsteigenden Dämpfe werden in dem ersten Gefäße verdichtet; sobald aber die verdichtete Flüssigkeit das Eintrittsrohr verschließt, werden die Dämpfe gezwungen, ihren Weg durch die Flüssigkeit zu nehmen. Diese gelangt dadurch ins Kochen und liefert alkoholreichere Dämpfe als zuvor. Das erstere Princip ist besonders bei bereits concentrirten Flüssigkeiten anzuwenden, denen nur wenig Wasser zu entziehen ist; das letztere Princip aber bei solchen Flüssigkeiten, die nur wenig Alkohol enthalten.

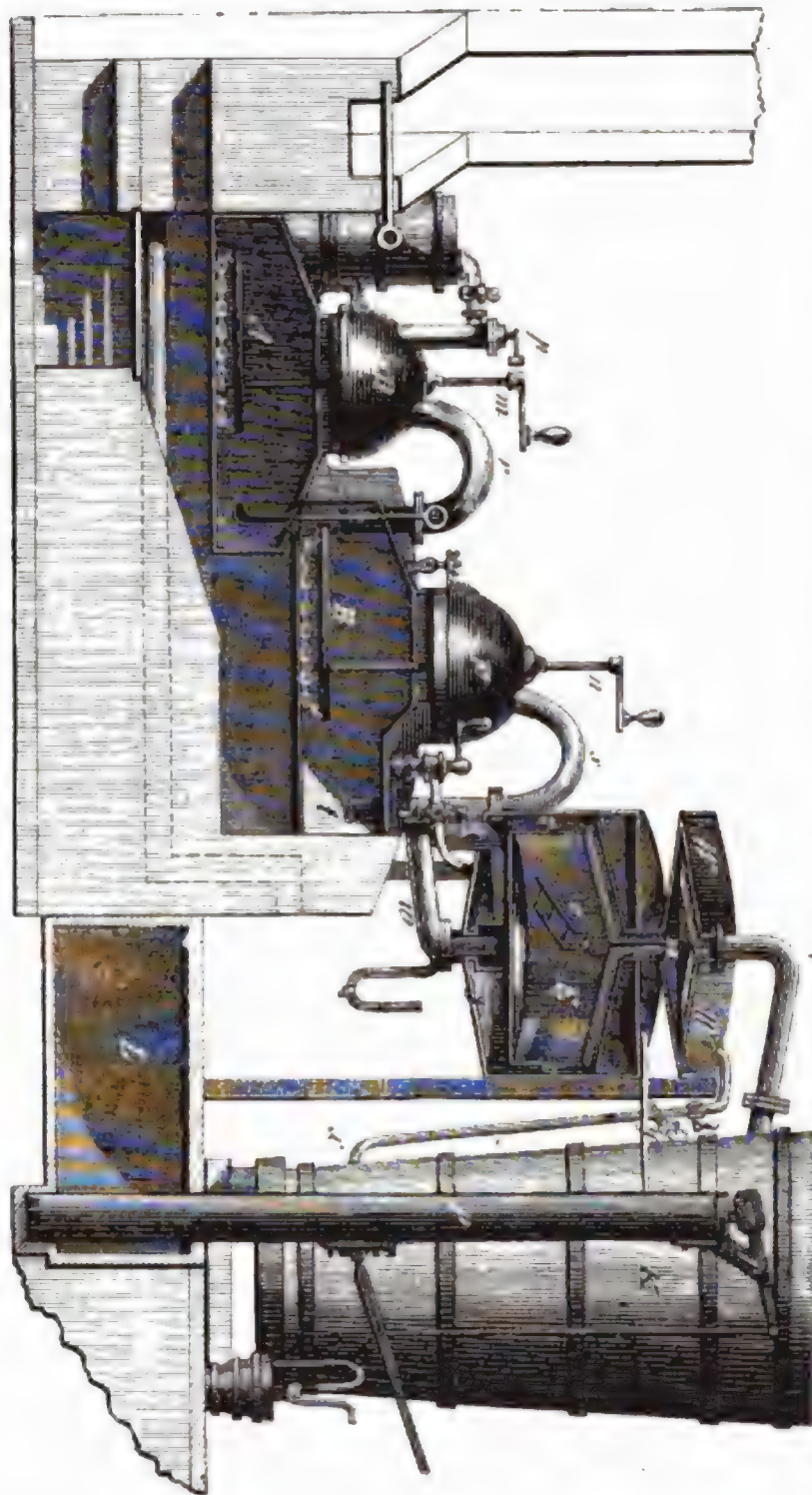
Die Kühlapparate, in denen die Verdichtung der Alkoholdämpfe stattfindet, sind Röhrenleitungen aus Kupfer und Zinn, die wegen der Raumersparniß als sogenannte Schlangentröhren in großen, mit Wasser gefüllten Gefäßen liegen. Häufig bestehen die letzteren in kupfernen Tonnen; in solchen aber werden die zinnernen Kühlröhren in Folge des galvanischen Einflusses angefressen und zerstört. Um diesem Nachtheil vorzubeugen, muß man die Kühlgefäße innen mit Zinkweiß oder irgend einer anderen Oelfarbe anstreichen.

Da das Metall sehr leicht die Wärme leitet, so theilt die Kühlröhre alle Wärme, die sie den Dämpfen entzieht, dem Wasser mit. Das warme Wasser steigt nach oben und fließt hier ab, während stets kaltes Wasser am Boden des Kühlfaßes eintritt. Welches Verhältniß zwischen der Kühl- und Heizfläche das beste ist, darüber ist man verschiedener Ansicht. Nach Brechtel soll die Kühlfläche doppelt, nach Gall drei Mal so groß sein als die Heizfläche. In der Regel reichen die Kühlröhren fast bis an die Oberfläche des Wassers, da aber das warme Wasser stets nach oben steigt, so wird dadurch die Wirkung des Kühlrohrs beeinträchtigt. Es wäre daher gut, wenn über demselben eine höhere Wasserschicht stände. Ueberhaupt geht die Austauschung des warmen Wassers gegen das kalte nur sehr langsam vor sich und dann werden viel zu bedeutende Mengen Wasser zur Abkühlung verbraucht. Die jetzige Form der Kühlröhren haben den Uebel-

stand, daß sie eine stärkere Wandung bedingen, also die Kühlung beeinträchtigen, und dann verstaten sie keine Reinigung des inneren Raumes. Hier sammeln sich Flüssigkeiten an, die sauer werden und das Metall angreifen. Namentlich bei kupfernen Röhren bildet sich Grünspan, der das Destillat in gefährlicher Weise verunreinigen kann. Verbesserte Einrichtungen findet man in K n a p p's Lehrbuch

der chemischen Technologie beschrieben. Die größte Beachtung verdient wohl der von B a b o angegebene Kühler nach Art des bekannten Liebig'schen. Er bedarf keines Gefäßes und erfordert nur die Hälfte an Wasser.

Unter den verbesserten Destillirapparaten, die in neuerer Zeit zur Anwendung gekommen sind, führen wir zuerst den von P i s t o r i u s an, der in nebenstehender Figur abgebildet ist. Dieser Apparat besteht aus zwei Plasen A und B, von denen sich die erstere unmittelbar über der Feuerung, die zweite etwas höher dahinter befindet und von der Feuerung der ersten Blase mit geheizt wird. A ist die sogen. Brennblase, auf der der Helm D mittelst Schrauben befestigt ist. Das Rohr p ist mit einem Ventil versehen, das der Luft Einlaß verstatet, sobald gegen das Ende der Destillation, wel-



ches durch den kleinen Kühlapparat q angezeigt wird, durch die Verdichtung der Dämpfe ein luftleerer Raum entstehen sollte. m ist ein Rührapparat, der das Anbrennen der festen Theile der Maische verhindert. Das Rohr r führt in die

Maischblase B, die durch den Helm F verschlossen und mit dem Rührapparat n versehen ist. Das von dem Helm F abgehende Rohr s steht mit dem bis in die Maische herabreichenden Rohr t in Verbindung, aus dem das Knierohr u abführt, um die Dämpfe nach dem Maischvorbwärmer zu führen. Der letztere wird durch einen doppelten Boden in zwei Abtheilungen getheilt; die obere E enthält die Maische, die untere g die Dämpfe, welche durch den engen Zwischenraum v in den Beckenapparat H steigen. Dieser besteht aus 2 gegen einander gerichteten, mit einander verbundenen, stumpfen Kegeln aus Kupferblech und trägt auf der oberen Fläche ein flaches Wassergefäß W. Solcher Becken befinden sich mehrere übereinander. Die abgekühlten Dämpfe ziehen durch das Rohr C in das Kühlfaß K ab. Das Rohr x führt kaltes Wasser nach dem Beckenapparat, das kurze Rohr y nach dem Vorbwärmer. Die Pumpe P pumpt die Maische aus dem Maischbehälter L in den Vorbwärmer hinauf; aus diesem wird die Maische in die zweite und von da in die erste Blase gelassen, welche sämmtlich einen gleichen Rauminhalt besitzen. Die in A aufsteigenden Dämpfe gehen durch die Maische in B, welche dadurch bis zum Sieden erhitzt wird. B wirkt demnach als Rectificator. Aus B treten die Dämpfe durch den Maischwärmer in den Beckenapparat oder Rectificator, dessen obere Theile Dephlegmatoren sind und gelangen endlich in dem Kühlapparat zur Verdichtung.

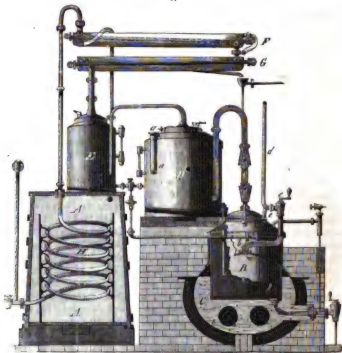
Mit diesem Apparat kann man zwar unmittelbar Spiritus von 80 bis 90 Proc. erhalten, aber der Apparat ist doch mit mancherlei Mängeln behaftet. Die flache Form der zweiten Blase erschwert die Wirkung der überdies stets nur an einem einzigen Punkt eintretenden Dämpfe der ersten Blase. Ebenso ist bei dem Vorbwärmer die von den Dämpfen umgebene Oberfläche im Verhältniß zur Oberfläche viel zu klein; daher gelangt die Maische nicht hinreichend warm in die zweite Blase, so daß die Destillation längere Zeit aufgehalten wird. Und dann sind die Becken so wie andere Theile des Apparates schwer zu reinigen. Diesen Uebelständen ist bei dem Schwarze'schen Apparat, der besonders im südwestlichen Deutschland große Verbreitung gefunden hat, zum Theil abgeholfen; dagegen läßt aber auch dieser Apparat, der zum Betriebe mit Dampf eingerichtet ist, mancherlei Einwendungen übrig. Er liefert Spiritus von 50 bis 70 Proc.

In diesen Apparaten ist der Lutterdampf von ungleicher Stärke, die namentlich gegen das Ende der Destillation abnimmt.

Gall war zuerst darauf bedacht, diesen Uebelstand durch den sogenannten Marlenbadapparat, von dem umstehende Fig. I. den Durchschnitt und Fig. II. die obere Ansicht zeigt, zu beseitigen. Wie bei den übrigen Destillirapparaten stehen auch hier mit dem Dampfkessel zwei Blasen und diese mit dem Lutterbehälter in Verbindung, nur ist die Anordnung eine eigenthümliche. BB sind die beiden neben einander stehenden Blasen und C der Dampfkessel mit den Feuerrohren. In den Kessel sind die Blasen versenkt. D ist eine dritte Blase, die sich außerhalb des Dampfkessels befindet, E der Lutterbehälter (Rectificator), F und G zwei Dephlegmatoren, A das Kühlfaß mit dem Kühlrohr H. Die Maische wird zuerst durch die Röhre aa in die Blase gebracht, die als Vorbwärmer und Rectificator dient; von hier aus werden die Blasen BB gefüllt. Der aus dem Dampfkessel ausströmende Dampf gelangt durch das gebogene Rohr zu dem Dreiweghahn c, von wo aus er entweder in eine der beiden Blasen B oder aufwärts durch das Rohr d nach dem Faß, worinnen die Kartoffeln gedämpft werden, geht. Die aus

einer der Blasen B aufsteigenden Dämpfe gehen erst in die andere Blase und dann nach D, E, F und G bis sie zuletzt in den Kühlapparat gelangen. Das Eigenthümliche dieses Apparates besteht darin, daß jede der beiden Blasen B B beliebig zur ersten oder zweiten gemacht und mit dem Apparat außer Verbindung gesetzt,

I.

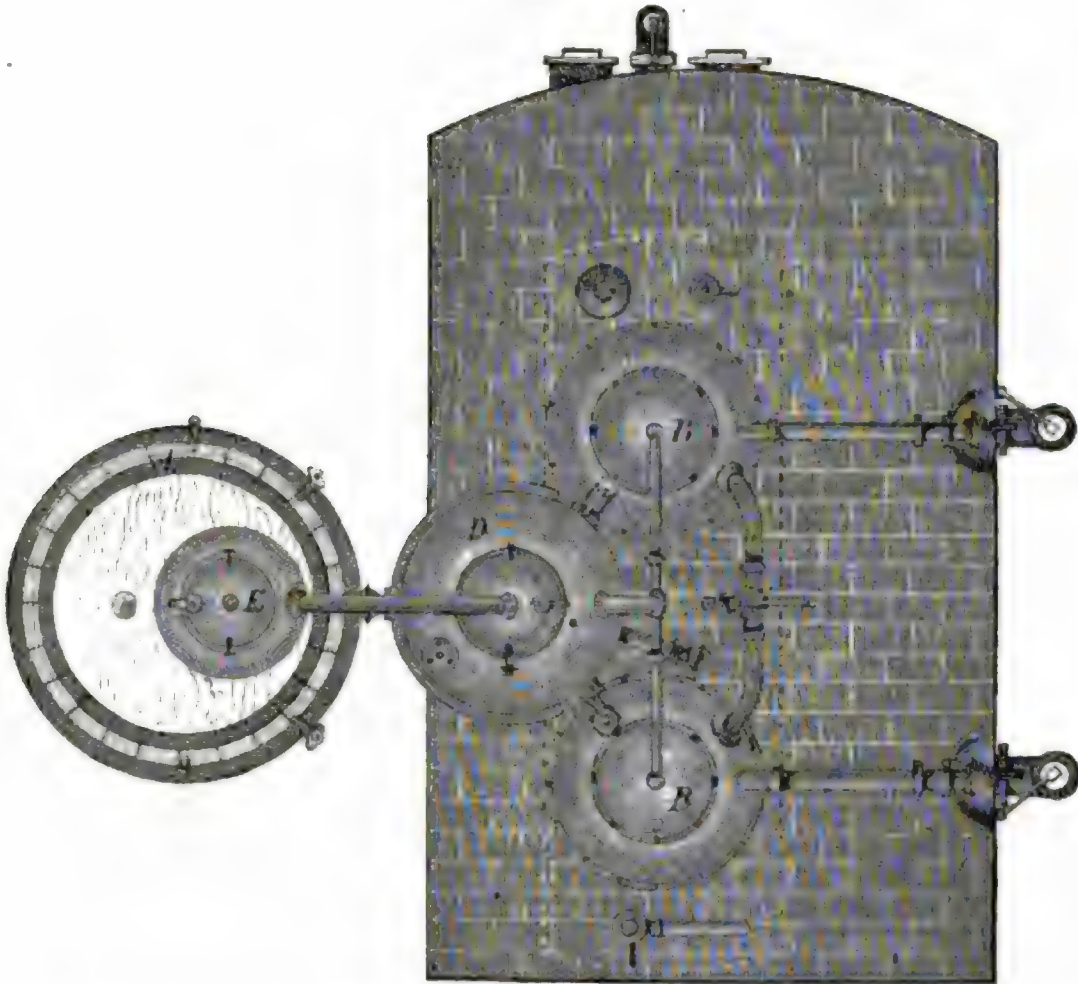


geleert und gefüllt werden kann, während die andere in Thätigkeit bleibt. In I und G verdichtet sich größtentheils Wasser, das zurückfließt.

Bei diesen Apparaten muß die Destillation zeitweise unterbrochen werden; nur bei Gall's Apparat hat diese Unterbrechung weniger zu bedeuten. In Frankreich arbeitet man bei der Destillation des Franzbranntweins mit Apparaten, die einen ununterbrochenen Gang haben. Sie rühren von Deros her. Aus einem Behälter fließt während der Destillation beständig Wein aus, der aber, um in die Blase zu gelangen, gerade den entgegengesetzten Weg nehmen muß, wie die aus der Blase aufsteigenden Dämpfe. Zunächst fließt der Wein in das Kühlfaß und vertritt hier die Stelle des Wassers, dann gelangt er in den Vorwärmer, aus diesem mit einer Temperatur, die dem Siedepunkt nahe ist, in den Rectificator. Der Rückstand von der Destillation liefert zugleich den zum Betriebe erforderlichen Dampf. Nach demselben Princip hat Coffey für die englischen

Brennereien einen Apparat geliefert, der in Holz ausgeführt ist. Der Betrieb mit Dampf macht die metallenen Geräthschaften entbehrlich; nur für die Leitungsröhren muß solches beibehalten werden. Einen solchen Apparat, aber mit unterbrochener Destillation hat übrigens auch schon Ball geliefert. Die zuletzt erwähnten Apparate eignen sich nur für ganz große Brennereien, da die unterbrochene Destillation hier weniger vortheilhaft ist. Eine Brennerei bei London liefert mit einem solchen Apparat stündlich $21\frac{1}{2}$ Orhofst Spiritus.

II.



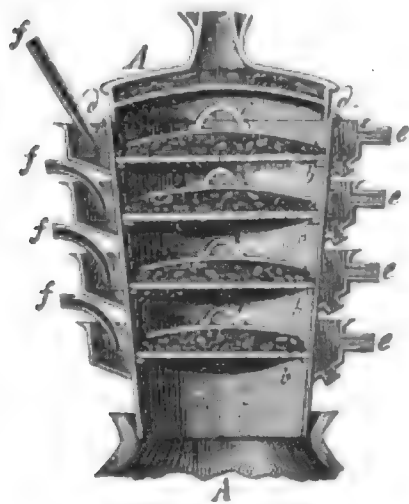
Der auf diese verschiedenen Arten erhaltene Spiritus ist nie eine bloße Mischung von Alkohol mit Wasser. Bei der Gährung der verschiedenen Substanzen bilden sich stets flüchtige Verbindungen, die den ätherischen Oelen ähnlich sind und daher mit in das Destillat übergehen. Es sind dies die sogenannten Fuselöle, die dem gewöhnlichen Korn- und Kartoffelbranntwein den eigentlich tragenden Geschmack ertheilen, der bei den echten Branntweintrinkern so sehr beliebt ist, daß sie mit einem reinen, verdünnten Alkohol nicht zufrieden sind. Die feinen Branntweine erhalten dadurch auch ihre Eigenthümlichkeiten. Diese Fuselöle sind also, je nach den Materialien, aus denen der Spiritus bereitet worden, verschieden.

Man unterscheidet das Getreide-, Kartoffel-, Runkelrüben- und Krappiuselöl. Sämmtliche Fuselöle haben das Gemeinschaftliche, daß sie weniger flüchtig sind

als Wasser, weshalb sie namentlich gegen das Ende der Destillation reichlicher auftreten. Das Kornfuselöl scheidet sich als grünlich-braune, schmierige Masse von betäubendem Geruch nach Phellandrium in den Kühlröhren und auf dem wollenen Tuche aus, durch das man den aus dem Kühlrohre ablaufenden Spiritus gemeinhin colirt. Es besteht aus Margarinsäure (?), Pelargonsäure und Kornöl (*Oleum silicium*). Auf einen Ohm kommt noch kein halbes Loth dieses Fuselöls. Außerdem aber tritt bei der Destillation des Getreides auch das Fuselöl auf, das bei der Gährung der Kartoffeln entsteht, der sogenannte Amylalkohol. Im reinen Zustande ist dies eine farblose Flüssigkeit von scharfem brennenden Geschmack und einen höchst widrigen und langhaltenden Geruch. Eingeathmet bewirkt der Dampf anhaltenden Kopfschmerz, Schwindel und Ekel; er wirkt sogar giftig. Man sagt zwar, daß der Amylalkohol aus den Keimpunkten und Keimen der Kartoffeln, in denen er bereits enthalten sein soll, herkommt, aber diese Ansicht ist sicher nicht richtig. Es ist ein Product der Gährung, das sich unter Umständen, die noch nicht bekannt sind, aus dem Zucker bildet. Es findet sich der Amylalkohol außer im Getreidebranntwein auch in Rüben-, Krapp- und sogar im Franzbranntwein. Ob die Concentration und die hohe Temperatur bei der Gährung Ursachen seiner Bildung sind, ist nicht ausgemacht. Sehr schlechter Kartoffelbranntwein enthält auch Baldriansäure, ein Oxydationsproduct des Amylalkohols; er riecht dann wie fauler Käse.

Das Fuselöl des Rübenbranntweins *) enthält neben dem Amylalkohol auch Amylather und Amylaldehyd; nebenbei auch Capron- und Caprylsäure. Die Gegenwart von Aldehyd überhaupt ist im Branntwein sehr häufig. Das Fuselöl im Krappweingeist enthält außer Amylalkohol eine erst bei 230° übergehende, für sich feste, krystallinische Verbindung, die ganz die Zusammensetzung des Bornecampfers besitzt. — Unsere Kenntniß der Fuselöle ist überhaupt noch sehr mangelhaft.

Der reine Weingeist muß daher von diesen Fuselölen befreit werden. Eines der bekanntesten und bewährtesten Mittel, welches von L. W. i g zuerst empfohlen wurde, ist Kohle. Der Branntwein wird entweder über Kohle destillirt oder vorher damit digerirt. Die Knochenkohle ist auch hier wirksamer als die Holzkohle. Am besten läßt man die Dämpfe bei der Destillation durch Kohle ziehen; man bringt sie deshalb zwischen die Victorlud'schen Becken. Von F a l k m a n n ist hierzu ein eigener Apparat (s. nebenstehende Figur) angegeben. Es ist dies ein helmartiges Gefäß A, in welchem sich die durchbrochenen Böden b b b b eingeeicht befinden. Auf jedem Boden liegt eine Schicht Kohlen, die durch einen Deckel c bedeckt ist. Das Gefäß ist oben mit einem Deckel geschlossen, der gleichfalls eine Kohlenschicht enthält. Um das Gefäß A befindet sich ein Kühlapparat, um die Temperatur der Kohlenschichten zu reguliren; f f f f sind die Zu-



*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVI. S. 103.

und e e e die Abflußröhren. Es läßt sich jedoch nur Brannwein, also schwacher und nicht starker Spiritus entfuseln. Wirkamer als die Kohle ist nach Woggen-dorff das Aeskali; es ist jedoch zu theuer, um im Großen angewendet werden zu können.

Außerdem sind noch sehr viele Entfuselungsmittel empfohlen, wie Schwefelsäure, Salpetersäure, Chlorkalk, Kupferoxydhydrat, chromsaures Kali, übermangan-saures Kali und dergleichen, die das Fuselöl nur theilweise zerstören und Verbindungen veranlassen, die den Fuselgeruch nur verdecken. Meißner schlägt vor den Brannwein durch Destillation über weißem Wachs zu entfuseln.

Nach Kletziński *) läßt sich jeder Alkohol, Weingeist, Brannwein oder Lutter durch Abziehen über Seife absolut fuselfrei gewinnen, gleichviel aus welchen Stoffen jene bereitet worden sind. Durch 2½ Pfd. Seife wird ein Anker des fuselhaltigsten Lutters vollständig gereinigt; die Seife vermag 20 Proc. Fuselöl zu binden und zurückzuhalten. Es muß harte, also Natronseife sein und diese darf natürlich keine flüchtigen Fettsäuren enthalten, weil diese mit in das Destillat übergehen würden. Die Seife entfuselt besser als alle bisher empfohlenen chemischen, größtentheils nur verdeckenden Mittel und besser und rascher als die frisch ausgeglühte Kohle. Zu gleicher Zeit wird durch die Seife auch Wasser zurückgehalten; man erhält hierbei stärkeren Spiritus als sonst bei einer einfachen Rectification. Die Seife selbst kann wieder durch Dampfdestillation bei höherer Temperatur entfuselt werden und ist dann von Neuem zu gebrauchen.

Schüttelt man fuselhaltigen Spiritus mit Del, so nimmt letzteres einen großen Theil des Fuselöles auf. Um dieses Mittel für den Betrieb im Großen anwendbar zu machen, tränkt man grobgepulverten Bimsstein mit Del und filtrirt den Spiritus durch eine solche Schicht. Hat sich letzterer mit Fuselöl gesättigt, so wird der Bimsstein entweder mit Wasserdampf behandelt oder geglüht und ist dann wieder brauchbar. Solcher Filter bedient man sich in den Runkelrübenspiritusbrennereien Frankreichs.

Die Literatur über die Branntweinbrennerei ist eine sehr große; bis 1853 waren nicht weniger als 242 Werke über diesen Gegenstand erschienen. Wir führen hier nur einige der Empfehlung werthen Schriften an: Vistorini, praktische Anleitung zum Branntweinbrennen; Hermstädt, chemische Grundsätze der Kunst, Branntwein zu brennen, theoretisch und praktisch dargestellt; Gambinnes, Handbuch der praktischen Branntweinbrennerei nach den neuesten und bewährtesten Methoden; Otto, Lehrbuch der rationellen Praxis der landwirthschaftlichen Gewerbe, und Walling, Gährungschemie, von der der Theil, welcher über die Branntweinbrennerei handelt, besonders abgegeben wird. Namentlich das letztere Werk, welches zuerst 1845 erschien, hat einen großen Einfluß auf die seitdem herausgekommenen Schriften über die Branntweinbrennerei ausgeübt.

Wie man die Stärke des Spiritus bestimmt ist bereits ausführlich im Art. Aräometer, Bd. I. S. 304 erörtert. Zur Belehrung der Praktiker über diesen wichtigen Gegenstand ist eine Schrift von J. Stadien: Construction der Scalen-Aräometer und Alkoholometer, bestimmt. Es wäre aber wünschenswerth gewesen, daß der Verfasser die Anwendung der angeführten Formeln durch recht viele Bei-

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLVIII. S. 180.

spiele klar gemacht hätte. Ferner ist zu empfehlen: *Fischern*, praktische Alkoholometrie, Dresden 1858.

Als Genußmittel wird der Spiritus (Branntwein) in großer Menge verbraucht. Außerdem findet der Spiritus auch in der Technik eine sehr bedeutende Verwendung. Er dient zur Darstellung von Parfümerien, Aether, zum Auflösen von Harzen (zu Lacken, Firnissen, Lincturen), zur Vereitung von Schnell-essig, so wie vieler chemischer und pharmaceutischer Präparate. Ebenso ist sein Verbrauch als Brennmaterial nicht unbedeutend. In allen diesen Fällen genügt ein Spiritus, der mehr oder weniger Wasser enthält. Specieell für den chemischen Gebrauch kommt es darauf an, ganz wasserfreien Spiritus zu haben. Die letzten Antheile Wasser hält der Weingeist aber sehr hartnäckig zurück. Durch einfache Destillation, so oft sie auch wiederholt werden möge, kann das Wasser nicht ganz entfernt werden, da der Alkohol eine so große Verwandtschaft zum Wasser hat, daß sie durch die Destillation nicht überwunden werden kann und dann reißt die Dämpfe des Alkohols stets Wasser mit sich fort, das mit jenen gemeinschaftlich wieder verdichtet wird. Destillirt man Branntwein, so enthält das zuerst Uebergehende 75 bis 80 Proc. Alkohol, dann folgt Weingeist von 60 bis 70 Proc., später wird der Weingeist immer schwächer und zuletzt kommt Wasser. Unterwirft man das Destillat bis zu 60 Proc. einer neuen Destillation, so erhält man zuerst einen Alkohol von 85 bis 90 Proc., der durch weitere Destillationen nicht von dem Wassergehalt zu befreien ist. Um das letzte Wasser zu entfernen, muß man andere Mittel, nämlich solche Körper anwenden, die mehr Verwandtschaft zum Wasser als dieses zum Alkohol haben; also z. B. Aetzkalk, Chlorcalcium, wasserfreies schwefelsaures Kupferoxyd etc. Man digerirt unter öfterem Umschütteln zuerst diese Körper mit Alkohol und zwar $2\frac{1}{2}$ Pfd. Aetzkalk mit einem Quart und zieht dann den Alkohol ab. Wackenroder hat aber nachgewiesen*), daß der auf diese Weise bereitete absolute Alkohol nur unter bestimmten Bedingungen frei bleibt von einer die concentrirte Schwefelsäure stark bräunenden Substanz. Immerhin ist die Darstellung von wasserfreiem (absoluten) Alkohol sehr langwierig, denn auch hier geht die Entziehung der letzten Antheile Wasser nur äußerst langsam von Statten und dann sind die Verluste gleichfalls nicht unbedeutend.

Stein**) hat eine Methode angegeben, nach der man schnell und leicht aus gewöhnlichem, fuseligen Brennspiritus (80 Proc.) einen fuselfreien Alkohol von 98 bis 99 Proc., selbst ganz wasserfreien, erhalten kann. Der Brennspiritus wird aus einem gewöhnlichen, auf einer Kapelle stehenden Kolben destillirt. Mit dem Destillirkolben wurden nach Art der Wulffischen Flaschen, zwei langhalsige Kolben verbunden, welche mit einem Gemisch von 2 Th. wasserfreiem Chlorcalcium und 1 Th. frisch ausgeglühter Kohle in bohngroßen Stücken gefüllt waren und in einem Wasserbade standen, welches man kochend erhielt. Der letzte Kolben stand mit einem Röhrenfühler in Verbindung. Das durch die Entwässerung flüssig werdende Chlorcalcium hält immer Alkohol zurück und muß deshalb für sich abdestillirt werden. Man kann natürlich die Entwässerungskolben vorthellhaft durch cylindrische Gefäße von Zink- oder verzinntem Eisenblech ersetzen.

*) Arch. d. Pharm. [2] Bd. L S. 162.

**) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVIII. S. 429.

Diese sind 12 bis 18 Zoll hoch, bei einem Durchmesser von 4 Zoll; sie müssen übergreifende, gut schließende Dedel, die bei der Destillation noch mit Stajerfitt verstrichen werden, haben. Die Verbindung zwischen den Gefäßen wird durch Bleiröhren hergestellt. Da es vorthailhaft ist, wenn man die Dämpfe sowohl beim Auf-, wie auch beim Niedersteigen mit dem Chlorcalcium und der Kohle in Verührung treten läßt, so verzieht man die Gefäße mit einer verticalen Scheidewand. Letztere ist an ihrem unteren Ende mit halbkreisförmigen Löchern und zwei Zoll darüber mit einer Reihe von Löchern verziehen, um den Dämpfen den Durchgang und dem zerflossenen Chlorcalcium den Abfluß zu gestatten. Damit letzteres nicht hinderlich wird, bringt man 3 Zoll über dem Boden ein Sieb an. Bei dem Kolben trifft man die Einrichtung, daß stets, wie bei der Aetherbereitung, so viel Spiritus nachfließt als Alkohol überdestillirt.

Vermehrt man die Zahl dieser Gefäße oder thut man in den Destillirkolben noch gebrannten Kalk oder Chlorcalcium, so sind die zuerst übergehenden Mengen in der That völlig wasserfrei. Stein erhielt aus 112 Unzen Brennschpiritus:

21 Unzen Alkohol von 100 Proc.; also 18,75 Proc. ganz wasserfreien.	
18 " " "	99,75 "
22 " " "	99 "
4 " " "	97,5 "
151 $\frac{1}{2}$ " " "	96,5 "
6 " " "	94,5 "
3 " " "	85 "

im Ganzen 89,5 " " " 98,22 " im Mittel.

Der Rechnung nach hätten 91,4 Unzen Alkohol von der angegebenen Stärke erhalten werden müssen, der Verlust beläuft sich demnach auf 2,08 Proc.

Eine sehr geistreiche Methode zur Concentration des Alkohols hat Graham angegeben. Er stellte eine kleine Schale mit gewöhnlichem Spiritus auf eine größere, mit Kalk gefüllte, brachte beide unter die Luftpumpe und verdünnte die Luft so weit, bis der Alkohol fast siedete. Die Wasserdämpfe werden von dem Kalk absorbirt, aber auch ein Theil der Alkoholdämpfe, weshalb man nicht mehr als 3 Th. Kalk auf 1 Th. Alkohol nehmen darf. Concentrirte Schwefelsäure darf man nicht nehmen, weil diese auch die Alkoholdämpfe in hohem Grade absorbirt. 4 Unzen Spiritus von 0,827 spec. Gew. wurden im Sommer nach 5 Tagen bis auf 0,796 gebracht, also fast wasserfrei gemacht; im Winter waren dazu 24 Stunden mehr erforderlich. Der Verlust belief sich auf ein Sechstel. Diese Methode, wie vorgeschlagen, im Großen zur Ausführung zu bringen, ist jetzt nicht mehr anzurathen, da die von Stein angegebene Methode vorthailhafter ist.

Ob der Alkohol in der That wasserfrei ist, läßt sich auf einfache Weise erkennen. Man bringt einige Tropfen davon auf wasserfreies schwefelsaures Kupferoxyd. Die geringste Menge Wasser verräth sich dadurch, daß das schwefelsaure Kupferoxyd eine blaue Färbung annimmt.

Der reine, wasserfreie, absolute Alkohol ist eine sehr bewegliche, farblose Flüssigkeit, die einen durchdringenden, angenehmen Geruch und einen hitzigen, scharfen Geschmack besitzt. Die Verwandtschaft des Alkohols zum Wasser ist so groß, daß er nicht nur Wasser aus der Luft anzieht, sondern dasselbe auch mit großer Begierde den thierischen und pflanzlichen Geweben entzieht. Darauf beruht

die giftige Wirkung des reinen Alkohol, sobald man denselben in den Organismus einführt. Er zerstört die Lebensfunctionen aller Gewebe mit denen er in Berührung kommt, indem er das zu ihrem Bestehen nothwendige Wasser an sich zieht. Hieraus erklärt sich auch die Empfindung, wenn man starken Weingeist in den Mund nimmt; die Zunge und die weichen Theile schrumpfen zusammen. Bringt man eine mit Wasser ganz durchdrungene thierische Blase in Alkohol, so kann man sie dadurch bis zu einem gewissen Grade trocknen. Bei kleinen Mengen oder mit Wasser gemischt, ist der Alkohol nicht so schädlich. Er regt dann angenehm auf, berauscht und betäubt aber, wenn er in größeren Mengen genossen wird. Nachtheiliger ist diese Wirkung bei fuselhaltigem Spiritus. Auf der Wasseranziehung beruht auch die Anwendung des Alkohols zur Aufbewahrung von anatomischen Präparaten, Früchten etc. Wegen dieser Eigenschaft ist es nothwendig den Alkohol in gut verstopften Flaschen aufzubewahren.

Das specifische Gewicht ist = 0,7938 bei 15°. Der Siedepunkt liegt nach Gay-Lussac bei 78°,41 bei einem Barometerstande von 0,76^m und nach Dumas und Boullay ist er 76° bei 0,745^m. Das spec. Gew. und die Flüchtigkeit werden durch Zusatz von Wasser verringert. Nach Sömmerring ist jedoch ein Alkohol mit 3 Proc. Wasser flüchtiger als der absolute und bei 6 Proc. genau so flüchtig als dieser. 1 Vol. Alkohol giebt bei 100° 488,3 Vol. Dampf. Entzündet man ein Gemisch von 1 Volum Alkoholdampf mit 3 Vol. Sauerstoff, so erfolgt eine heftige Explosion; man erhält hierbei 2 Vol. Kohlenäure und 3 Vol. Wasserdampf.

Ueber das Verhalten des Alkohols gegen die Kälte, sind die Angaben verschieden. So viel steht fest, daß es einer außerordentlich großen Kälte bedarf, um ihn zum Gefrieren zu bringen. Mitchell behandelte Alkohol von 0,798 spec. Gew. mit einem Gemisch von fester Kohlenäure und Aether im luftleeren Raum; bei — 90° C. wurde der Alkohol blattig und bei — 99° so dickflüssig wie geschmolzenes Wachs. Alkohol von 0,820 spec. Gewicht gefror indessen bei diesen Versuchen leicht. Faraday giebt an, daß der Alkohol bei — 110° sich verdichtete, aber nicht erstarrte, während Löwig gefunden haben will, daß absoluter Alkohol bei — 98° C. fest werde. Auf diesem Verhalten beruht die Verwendung des Alkohols zur Füllung von Thermometern, die zur Bestimmung von hohen Kältegraden dienen. Ueber die Ausdehnung des Alkohols durch die Wärme siehe den Artikel Ausdehnung, Bd. I. S. 588.

Im Allgemeinen hat der Alkohol ein größeres Absorptionsvermögen für Gase als Wasser. Nach Saussure stellen wir hierüber folgende Vergleichung zusammen:

Bei 18° C. werden absorbiert:	Von 1 Vol. luftfreiem Wasser.	Von 1 Vol. luftfreiem Alkohol spec. Gewicht 0,840.
Schwefelsäure . . .	43,78 Vol.	115,77 Vol.
Schwefelwasserstoff . . .	2,53 "	6,06 "
Kohlenäure . . .	1,06 "	1,86 "
Stickstoffoxydul . . .	0,76 "	1,53 "
Delbildendes Gas . . .	0,133 "	1,27 "
Sauerstoff . . .	0,063 "	0,1623 "
Kohlensäure . . .	0,062 "	0,145 "
Wasserstoff . . .	0,046 "	0,051 "
Stickstoff . . .	0,042 "	0,042 "

Außerdem absorbirt der Alkohol noch beträchtliche Mengen von Stickoxydgas, Ammoniak, salpetrige Säure, Cyangas und Chlornasserstoffgas; vom letzteren 68 Vol. Neuere Untersuchungen hierüber sind von Carius angestellt worden *). Beim Erwärmen werden die Gase wieder ausgetrieben; einige aber, wie z. B. die Säuren wirken hierbei auf den Alkohol ein und bilden neue Verbindungen.

Eine thierische Blase wird durch Alkohol durchaus nicht befeuchtet; er flieht davon ab, wie Wasser vom Fett. Auf diesem gänzlichen Mangel an Adhäsion oder Befeuchtungsfähigkeit beruht die von Sömmerring entdeckte, interessante Methode, den Weingeist zu concentriren. Bringt man Branntwein von 50 Proc. in eine thierische Blase und hängt diese, gut zugebunden, in die Nähe eines warmen Ofens, so ist der Alkohol nach einigen Wochen bis auf 79 Proc. concentrirt. Daß in dem Branntwein enthaltene Wasser befeuchtet die Blase, bringt durch dieselbe hindurch und verdampft auf der Außenseite. Indessen geht hierbei auch Alkohol verloren, da, wie Graham nachgewiesen hat, die trockene Blase, also der obere nicht durch die Flüssigkeit bedeckte Theil derselben, noch Alkohol durch die Poren entweichen läßt. Auch im gewöhnlichen Leben ist diese Thatsache bekannt. Nach Frankreich wird viel Spiritus eingeschmuggelt und zwar in Blasen gefüllt, die man an dem Körper verbirgt. Die Leute, die sich damit abgeben, wissen sehr wohl, daß der Alkohol hierbei zwar an Volumen abnimmt, aber doch stärker wird.

Ueber die Entmischung des Weingeistes in Folge freiwilliger Verdunstung, die für mannichfache technische Fragen, wie z. B. bei der Destillation, beim Lagern von Spiritus in Fässern, beim Schaalwerden geistiger Flüssigkeiten etc., nicht ohne Interesse sind, hat A. Vogel jun. Versuche angestellt **). Diese erstreckten sich zunächst auf drei Alkohole mit verschiedenem Gehalt, zu 84,64; 49,55 und 10,08 Gew. Proc. an absolutem Alkohol. Hieraus wird ein interessantes, technisch wichtiges Verhalten wasserhaltiger Alkohole beim Verdampfen klar. Stets verdampft natürlich ein alkoholreicherer Weingeist, als der der Verdunstung ausgesetzt. So entwich z. B. in der Zeit, wo der Alkohol von 84,64 auf 82,92 herabsank, ein Alkohol von 90,48 Proc. In einem ungleich auffallenderen Maße findet aber dieses Entweichen stärkeren Alkohols, als der ausgesetzte Spiritus, in schwachen weingeistigen Flüssigkeiten statt. So entweicht z. B. in der Zeit, wo der Alkohol von 49,55 auf 33,14 herabsinkt, ein solcher von 76,6 Proc. und aus einem Weingeist von 1,5 Proc., während derselbe auf 0,35 herabgeht, ein solcher von 7,68 Proc. Hierdurch ist die Möglichkeit gegeben, durch Destillation einen schwachen Weingeist zu concentriren. Weiter ergiebt sich aus diesen Versuchen das interessante Resultat, daß in schwachem Weingeiste eine weit beträchtlichere Verdampfung stattfindet, als dieses bei stärkerem Weingeist der Fall ist. Aus 84procentigem Alkohol verdampfen 1,826 Th. Alkohol, während von der gleichen Oberfläche 1 Th. Wasser ausgehaucht wird, aus 57procentigem schon 2,82 Th. und aus 3procentigem 7,58 Th. Alkohol.

Der Sauerstoff wirkt bei gewöhnlicher Temperatur nicht auf den Alkohol ein, wohl aber bei höherer Temperatur. Leitet man daher Alkoholdämpfe mit Luft

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIV. S. 129.

**) Bericht. d. Wiener Akad. Math. naturw. Classe. Bd. XXX. S. 261.

gemischt durch eine glühende Röhre, so bilden sich Kohlensäure, Essigsäure, Wasser und eine eigenthümliche, stechend widrig riechende und die Augen stark angreifende Verbindung. Aber auch für sich wird der Alkohol in der Hitze zerlegt, wenn man die Dämpfe durch glühende Röhren leitet. Bei schwacher Rothgluth zerlegt sich nach Berthelot *) der Alkohol in Kohlenwasserstoff, Aldehyd, Naphthalin, Benzol, Phenylsäure und verschiedene andere Verbindungen. Die Entstehung von Naphthalin aus Alkohol ist bereits durch Saussure und Reichenbach nachgewiesen. Bei starker Rothgluth setzt sich Kohle ab und man erhält ein Gemisch brennbarer Gase.

Der Alkohol ist leicht entzündlich; er verbrennt, wenn hinreichend Sauerstoff vorhanden ist, zu Kohlensäure und Wasser, andernfalls scheidet sich Kohle aus. Wegen des geringen Kohlenstoffgehaltes brennt der Alkohol mit schwach leuchtender Flamme. Man benutzt ihn daher, um andere sehr kohlenstoffreiche Flüssigkeiten, wie z. B. Terpentinöl für die Beleuchtung geeignet zu machen. Ueber die unvollkommene Verbrennung des Alkohols siehe d. Art. Verbrennung. S. 477.

Mischt man Alkohol mit Wasser, so findet in Folge der chemischen Verwandtschaft beider eine beträchtliche Wärmeentwicklung statt, so wie auch eine Zusammenziehung. Die letztere nimmt so lange zu, bis die Flüssigkeit auf 1 Aeq. Alkohol 3 Aeq. Wasser enthält oder dem Gewichte nach aus 100 Th. Alkohol und 116,24 Th. Wasser besteht. 100 Volumina dieser Mischung bestehen bei 15° aus 53,94 Vol. wasserfreiem Alkohol und 49,84 Vol. Wasser; die Verdichtung beträgt demnach 3,78 Vol. Bei einem Ueberschuß an Wasser, dehnt sich die Mischung nach Traill's bedeutend aus. Dies ist jedoch nur scheinbar und wird durch die beim Vermischen frei werdende Wärme bewirkt. Wie Gay-Lussac gezeigt hat, können Mischungen, die verschiedene Mengen Alkohol enthalten, dieselbe Zusammenziehung haben; diese ist z. B. bei Mischungen, welche 70 und 50 Proc. Alkohol enthalten, = 3,44. Die Zusammenziehung nimmt bis zu einem bestimmten Punkte hin zu, wird aber mit der abnehmenden Stärke des Alkohols verhältnißmäßig schwächer und giebt Mischungen, welche zwischen dem höchsten und niedrigsten Grade liegen, correspondirende Concentrationsgrade.

Mischt man gleiche Volumina Alkohol von 0,825 spec. Gewicht mit Wasser, so steigt sich, bei raschem Vermischen, die Temperatur von 10° auf 21°. Mischt man Alkohol mit Eis oder Schnee, so entsteht eine bedeutende Kälte; bei absolutem Alkohol und Eis von — 37° C. und bei Spiritus von 0,860 spec. Gew. und Schnee fällt die Temperatur von + 16° auf — 25° C.

Der reine Alkohol besteht in 100 Th. aus	52,658 Kohlenstoff
	12,896 Wasserstoff und
	34,446 Sauerstoff.
	100,000.

Seine Formel ist $C^4 H^6 O^2$. Er wird als Aethylorydhydrat ($C^4 H^5 + O + HO$) angesehen. Williamson hat eine andere Ansicht über die Constitution des Alkohols aufgestellt **). Er führt die Formel auf 1 Aeq. Sauerstoff

*) Compt. rend. T. XXXIII. p. 210.

**) Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. LXXVII. S. 37 und Bd. LXXXI S. 73.

zurück; sie ist also $= C^2H^3O$. Gegen diese Ansicht ist Henry aufgetreten^{*)}; ebenso hat Wrightson Gründe angegeben, die gegen die Theorie von Williamson sprechen^{**}).

Durch Schwefelsäure kann dem Alkohol das Wasser entzogen werden; man erhält so das Aethyloxyd oder den Aether ($C^4H^5 + O$), vergl. d. Art. Aether, Bd. I. S. 122. Je nach der Concentration der Schwefelsäure und der Temperatur, bei der sie auf den Alkohol einwirkt, sind die Zersetzungsproducte verschieden. So erhält man z. B. unter gewissen Umständen, wenn ein Gemisch von Alkohol mit Schwefelsäure erhitzt wird, ölbildendes Gas (CH). Man kann daher den Alkohol und Aether auch als verschiedene Verbindungen von ölbildendem Gas und Wasser ansehen. Berthelot ist es gelungen, aus diesen beiden Bestandtheilen Alkohol künstlich zu erzeugen^{***}). Er füllte einen luftleer gepumpten Kolben mit 32 Liter ölbildendem Gase, goß dann nach und nach 900 Grm. reine concentrirte Schwefelsäure und einige Kilogramm. Quecksilber dazu und schüttelte das Ganze. Nach 53,000 Stößen war die Absorption sehr schwach. Es waren 30 Liter des Gases absorbirt. Er verdünnte nun die Schwefelsäure mit 5 Vol. Wasser und destillirte. Das Destillat enthielt 45 Grm. absoluten Alkohol, also $\frac{3}{4}$ derjenigen Menge, die das Gas hätte liefern müssen, wenn es vollständig in Alkohol verwandelt worden wäre. Dieser Alkohol gab wieder normales ölbildendes Gas, als er auf die geeignete Weise behandelt wurde. Fürs Erste kann es uns nicht einfallen, auf diese Weise Alkohol im Großen bereiten zu wollen; aber dennoch gehört dieses Resultat mit zu den interessantesten, welche die Chemie in neuerer Zeit zu Tage gefördert hat. Indessen hat Marx nachgewiesen^{****}), daß dieselbe Thatsache bereits 1828 von Henry Sannell entdeckt worden ist[†]).

Der Alkohol wird durch die Einwirkung verschiedener Körper auf das Mannichfaltigste zerlegt. Chlor und Brom entziehen dem Alkohol Wasserstoff, für den jene Elemente eintreten. Neben Chloral und Bromal entstehen auch Chlor- und Bromwasserstoffsäure. Ist der Alkohol wasserhaltig, so sind die Zersetzungsproducte mannichfaltiger. Iod wirkt nicht in derselben Weise. Es löst sich in Alkohol auf und erst nach einiger Zeit bildet sich Jodwasserstoffsäure. Die Sauerstoffsäuren der beiden ersten Elemente, wenn sie concentrirt sind, erhigen sich mit Alkohol bis zur Entzündung des letzteren. Neben den Wasserstoffsäuren jener Elemente treten Essigsäure, Essigäther und Aldehyd auf. Aehnliche Zersetzungsproducte veranlaßt die Salpetersäure. Enthält aber die Salpetersäure Silber- oder Quecksilberoxyd aufgelöst, so bilden sich die knallsauren Salze dieser Oxyde. Chromsäure oxydirt den Alkohol mit großer Heftigkeit; es bildet sich Aldehyd, während die Chromsäure zu Oxyd reducirt wird. Aldehyd ist auch das hauptächlichste Product, wenn man Schwefelsäure und Braunstein mit Weingeist destillirt; außerdem treten Ameisen- und Essigäther und gegen das Ende der Destillation Ameisen- und Essigsäure auf.

*) Zeitschrift für die gesammten Naturwissenschaften Bd. I. S. 102.

**) Phil. Mag. Vol. VI. p. 86. Zeitschrift für die gesammten Naturwissenschaften Bd. II. S. 237.

***) L'Institut 1855 p. 18.

****) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXV. S. 92.

†) Phil. Trans. 1828 p. 365.

Verschiedene Säuren, wie Essig-, Oxal-, Ameisen-, Chlornasser-, Bromwasser- und Jodwasserstoffsäure zerlegen den Alkohol unter Bildung der entsprechenden Aetherarten. Fluorbor bildet beim Erwärmen mit Alkohol Fluorborwasserstoffsäure, Borsäure und Aether. Verschiedene Chloride, von Antimon, Eisen und Zinn, bilden mit dem Alkohol Chloräthyl, Wasser und die betreffenden Oxide. Kalium scheidet aus dem Alkohol 1 Aeq. Wasserstoff aus und nimmt dessen Stelle ein.

In neuerer Zeit sind die Zersetzungen des Alkohols vielfach studirt worden. Wir stellen deshalb die Literatur zusammen. Debus, über einige Oxydationsproducte des Alkohols, Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. CX. S. 1 und Bd. CII. S. 20. Reynolds, über die Einwirkung von Säuren und Salzen auf Alkohol, ebenda Bd. CI. S. 100; Schiff, Verhalten des Alkohols zu einigen Chloriden, ebenda Bd. CII. S. 338. Lieben, über die Einwirkung des Chlors, ebenda Bd. CIV. S. 114, Bonnet, über die Einwirkung des Königswassers, ebenda Bd. CIV. S. 337. Spencer, Einwirkung der Chlornasserstoffsäure auf ein Gemenge von Aceton und Alkohol, Anat. Journ. of the Chem. Soc. Vol. VII. p. 244. Béchamp, Einwirkung von Phosphorchlorür, Compt. rend. T. XLI. p. 23, Salaignac, über die Reaction der Elemente des Alkohols auf einander, Journ. de Pharm. et de Chim. [3] T. XXVII. p. 52.

Der Alkohol verhält sich indifferent und geht wohl keine wirkliche chemische Verbindung ein. Nach Graham kann er indessen in gewissen Salzen das Krystallwasser ersetzen. Diese Verbindungen nennt er Alkoholate. Diese Angabe ist jedoch von Einbrodt bezweifelt, von Cholnew dagegen wiederum bestätigt worden. Ruhlmann*) und Berthelot**) berichten von einer Verbindung des Alkohols mit Baryt.

Der Alkohol wird entweder rein oder wasserhaltig von den Chemikern vielfach als Auflösungs- oder Scheidungsmittel benutzt. Von den im festen Zustande vorkommenden Elementen löst der Alkohol Schwefel, Phosphor und Jod. Von den Salzen sind die leicht zerfließlichen in Alkohol löslich, ebenso die in Wasser löslichen Chlorverbindungen, ferner die organischen Säuren, die meisten Salze der fetten Säuren, viele Harze und ätherische Oele. Bei einigen Substanzen wird das Auflösungsvermögen des Alkohols durch den Wassergehalt erhöht, bei anderen verringert. Gewisse Substanzen, wenn sie in Alkohol gelöst sind, färben die Flamme desselben, so z. B. Borsäure und Kupfersalze grün, Chlorstrontium roth, Chlorkalcium pomeranzengelb und Chlorbaryum roth. Mit Wasser und Aether mischt sich der Alkohol in allen Verhältnissen.

Fertig gebildet kommt der Alkohol nicht vor; er ist aber in allen Flüssigkeiten, welche die geistige Gährung durchgemacht haben, enthalten. Branntwein nennt man alle destillirten geistigen Flüssigkeiten, die unter 50 Proc. Alkohol enthalten. Der sogenannte Spiritus vini rectificatus enthält 55 bis 60 Proc., der höchst rectificirte Weingeist 80 bis 85 Proc. und der alkoholisirte Weingeist 90 bis 95 Proc. Alkohol.

Um bei gerichtlichen Untersuchungen die Gegenwart des Alkohols nachzuweisen, hat Thomson die Chromsäure vorgeschlagen. Die Reduction der Chrom-

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XXXIII. S. 104.

**) Ebenda Bd. XCVIII. S. 180.

säure zu Chromoxyd und die Bildung von Aldehyd geben zwar eine scharfe Reaction, die aber insofern unsicher ist, als dieselbe auch durch andere Substanzen bedingt sein kann, wiewohl dies bei dem Destillat weniger zu fürchten ist. Strauch in Dorpat hat daher auf Anregung von Buchheim diese Frage weiter verfolgt. Er schlägt Platinmoir vor*), der gestatten soll, die Frage in $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Stunde zu entscheiden. Man zerkleinert den Körpertheil, den man auf Alkohol untersuchen will und bringt ihn sogleich, wegen des beim Erwärmen eintretenden Schäumens, in eine geräumige Retorte. Besitzt die Substanz eine saure Reaction, so muß eine genaue Neutralisation vorgenommen werden. Die Retorte wird durch ein Wasserbad erhitzt und in den abgesprengten Hals derselben ein Platinmoir enthaltendes Schiffchen von Platin, reinem Silber oder Glas eingeschoben und zwar bis zu dem Ende des Retortenhalses. An jedes Ende des Schiffchens legt man ein mit destillirtem Wasser befeuchtetes Stückchen blaues Lackmuspapier und zwar so, daß es den Platinmoir berührt. Sobald sich die ersten Wassertropfen in dem Halse der Retorte absetzen, wird der Theil des Lackmuspapieres, der den Platinmoir berührt, sich röthen, während das entgegengelegte Ende unverändert bleibt, wodurch der Beweis geliefert wird, daß die Säure nicht schon aus der Retorte her stammt, sondern erst durch die Berührung mit dem Platinmoir entstanden ist. Fließen einzelne Tropfen bereits aus dem Retortenhalse aus, ohne daß sich das Lackmuspapier verändert hat, so kann man sicher auf die Abwesenheit von Alkohol schließen. Zu noch größerer Sicherheit kann man nach dem Eintritt der Röthung den Platinmoir entfernen, einige Trachmen des Destillates auffangen und dieses durch neue Destillation über Chlorcalcium entwässern. Mit diesem Destillat kann man dann auch die Reaction auf Chromsäure machen.

Die Verfälschungen haben heut zu Tage im Handel und Wandel eine solche Ausbildung erlangt, daß es fast scheint, als sei alle Ehrlichkeit verschwunden. Auf dem Gebiet des Spiritushandels begegnen wir ihnen in einem sehr umfassenden Grade. Zunächst handelt es sich darum, ob ein Spiritus fuselfrei ist oder nicht. Man versucht es sehr häufig den Weinbranntwein durch Korn- und Kartoffelbranntwein nachzuahmen, aber diese Betrügereien sind sehr leicht durch die Nachweisung des Fuselöles zu entlarven. Man braucht nur auf ganz einfache Weise eine kleine Menge der verdächtigen Waare bei ganz gelinder Wärme in einem Glase oder einer Porzellan- oder Zinnwanne zu verdampfen. Bei dem Rückstande tritt dann der bekannte Geruch des minder flüchtigen Fuselöles deutlicher hervor, während der Rückstand eines auf gleiche Weise behandelten Franzbranntweines einen angenehmen, weinsäuerlichen Geruch und Geschmack besitzt, der selbst dem ganz fuselfreien Korn- und Kartoffelbranntwein durchaus abgeht. Oder man verdünnt den Spiritus hinreichend mit heißem Wasser; hierbei macht sich das Fuselöl durch den Geruch und Geschmack sehr bemerklich. Schüttet man einige Tropfen in ein Glas und schwenkt man dasselbe, so verdunstet der Alkohol leicht, während das schwerere flüchtige Fuselöl zurückbleibt und durch seinen unangenehmen Geruch zu erkennen ist. Will man bei der Nachweisung des Fuselöles ganz sicher zu Werke gehen, so löst man in 4 Loth Branntwein 6 Gran festes Aetkali und dampft dann in einem Wasserbade ein. Setzt man zu dem Rückstand einige Tropfen Schwefelsäure, so wird das Fuselöl von dem Kali wieder abgeschieden und giebt sich durch

*) Chem. Centralbl. 1854. S. 428.

den Geruch zu erkennen. Auf diese Weise kann man es selbst da noch nachweisen, wo das Geruch- und Geschmacksorgan in dem Spiritus selbst keinen Fusel mehr zu erkennen vermag. Da die verschiedenen Fuselöle sich durch einen besonderen Geruch kennzeichnen, so kann man hier auch sichere Schlüsse über die Abstammung der Branntweine machen.

Wenn der Branntwein längere Zeit lagert, so nimmt er einen angenehmen Geruch an, indem sich durch die Einwirkung der Essigsäure auf den Alkohol geringe Mengen Aether bilden. Da ein solcher Branntwein theurer bezahlt wird, so sucht man diesen Wohlgeruch künstlich durch Zusatz von Schwefelsäure hervorzurufen. Ist die Menge der Schwefelsäure zu gering, so daß der Branntwein selbst auf Lackmuspapier nicht sauer reagirt, so dampft man bei gelinder Wärme eine Probe bis auf ein Fünftel ein. Dann tritt die saure Reaction, falls Schwefelsäure zugegen ist, sehr stark auf. Um diese Säure unzweifelhaft nachzuweisen, verdünnt man den Rückstand mit destillirtem Wasser und setzt einige Tropfen Chlorbaryumlösung hinzu, die dann einen weißen, in Salzsäure unlöslichen Niederschlag bewirkt. — Um die Essigsäure, die aus gleichen Zwecken zugesetzt ist oder von der Gährung herrührt, zu entdecken, dampft man eine Probe Branntwein mit Aegnatron ab und gießt auf den Rückstand Schwefelsäure, wodurch der Geruch der Essigsäure bemerkbar gemacht wird. Hat man zugleich Alkohol zugesetzt und das Ganze eine Zeitlang erwärmt, so tritt der noch mehr charakteristische Geruch nach Essigäther auf. — Aldehyd giebt sich durch sein Verhalten gegen weinsaures Kupferoxyd-Kali zu erkennen, durch die Reduction des Kupferoxyds zu Kupferoxydul und durch die nach Ausscheidung desselben bewirkte gelbrothe Färbung. Da Traubenzucker dieselbe Reaction ausübt, so muß der Branntwein vorsichtig destillirt und die Probe mit dem Destillat ausgeführt werden.

Als ein anderes Zeichen für das Alter des Branntweins gilt die Farbe, die er von den Fässern annimmt. Auch diese stellt man künstlich her durch gebrannten Zucker oder Catechu; letztere liefert auch die Gerbsäure, welche der Branntwein dem Holze entzieht. Diese Verfälschungen sind gleichfalls im Rückstande aufzufinden. Der Zucker verräth sich durch seinen Geruch, der Catechu durch einen grünlich-schwarzen Niederschlag nach Zusatz einer Lösung von schwefelsaurem Eisenoxydul-Dryd. Stammt die Gerbsäure wirklich aus dem Holze her, so entsteht auf Zusatz der eben genannten Lösung nur eine schwache, bläulich-schwarze Trübung.

Theils um den Fuselgeruch zu verdecken, theils um den fragenden Geschmack zu verstärken, setzt man demselben Gewürze hinzu. Diese bleiben bei gelindem Abdampfen zurück und geben sich dann durch den ihnen eigenthümlichen Geruch zu erkennen. Sie sind aber auch in dem Branntwein selbst durch Zusatz von einem gleichen Volumen concentrirter Schwefelsäure zu entdecken. Enthält der Branntwein nur $\frac{1}{2400}$ eines solchen Extractes, so wird er durch diese Probe bräunlich, bei $\frac{1}{600}$ aber dunkel schwarz-braun gefärbt.

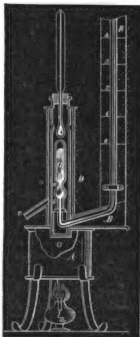
Der Branntwein kann auch Metalle enthalten, die von den Destillirgeräthschaften herrühren. Um diese Verunreinigungen nachzuweisen, muß man den Branntwein vollständig zur Trockne abdampfen und den Rückstand glühen, um die organischen Bestandtheile zu verkohlen. Dann kocht man den Rückstand mit Salpetersäure aus, um die Metalle aufzulösen und verdünnt die filtrirte Lösung mit Wasser. Bringt ein Ueberschuß von Ammoniak eine blaue Färbung hervor, so ist

Kupfer zugegen. Zinn entdeckt man durch Zuſatz von Goldchlorid, das einen roth-braunen Niederſchlag hervorbringt, Blei durch Schwefelwaſſerſtoſſwaſſer, das einen ſchwarzen, oder durch Schwefelſäure, das einen weißen Niederſchlag bewirkt. Um das Zink nachzuweiſen, muß man zuvor die drei genannten Metalle durch Schwefelwaſſerſtoſſ entfernen. Setzt man zu dem Filtrat Ammoniak, ſo wird die Gegenwart von Zink durch einen weißen Niederſchlag dargethan.

Beträchtliche Mengen von Cognac und Rum werden in Deutschland künstlich aus dem Kartoffelfuſel fabricirt. Zu der Bereitung des erſteren dient folgendes Recept. $\frac{3}{4}$ Pfd. Eiſigäther, $\frac{1}{2}$ Pfd. Salpeterätherweingeiſt, 8 Quart Franzwein, $\frac{1}{2}$ Pfd. Eichenrindentinctur (aus 1 Pfd. Eichenrinde und 2 Pfd. Spiritus bereitet) werden mit ſo viel Spiritus vermiſcht, daß das Ganze 150 Quart von 54° Tralles beſitzt. Oder man füge zu 100 Pfd. Spiritus von 0.920 spec. Gewicht $\frac{1}{2}$ bis 1 Pfd. rohen Weinſtein, in heißem Waſſer aufgelöst, einige zerquertichte franzöſiſche Pflaumen und 1 Quart echten Cognac hinzu und reſtillire das Ganze. Dem Deſtillat ſetzt man Eiſigäther, gebrannten Zucker und Tamin zu. Die künstlichen Mittel, um gewöhnlichen Brannwein in Rum zu verwandeln, ſind: Ameiſenäther oder Butteräther, Zimmttinctur, Ruſſtinctur und Zuſtenlebertinctur. In den meiſten Fällen wird ſich ſicher in dieſen gefäliſchten Fabrikaten das Fuſelöl nachweiſen laſſen.

Kommt es darauf an den Weingeiſtgehalt in irgend einer vergohrenen Flüſſigkeit

zu beſtimmen, ſo bedient man ſich am beſten des von Geiſler in Bonn conſtruirten Vaporimeters, der in nebenſtehender Figur abgebildet iſt. Der Apparat beſteht aus dem Gläſchen U, in welches die lange gebogene Röhre B luſtdicht eingekliſſen iſt; einem Kefſel A, in welchem Waſſer durch eine Spirituslampe ind Kochen gebracht wird und dem Doppelcylinder V, der das Gläſchen umgiebt, und durch den die Waſſerdämpfe aus dem Kefſel ihren Weg nehmen müſſen. Alle Theile des Apparates ſind ſo gearbeitet, daß ſie mit Leichtigkeit aus einander genommen werden können, aber dennoch luſtdicht ſchließen, wenn man ſie wieder zuſammenſtellt. Will man eine Unterſuchung ausführen, ſo nimmt man das Gläſchen heraus, bringt es durch Umdrehen in die natürliche Lage und entfernt die Röhre. Das Gläſchen iſt durch zwei Striche bei a und h in zwei ungleich große Theile getheilt. Die untere Abtheilung, alſo biſ a füllt man zuerſt genau mit Queckſilber und dann biſ h mit der zu unterſuchenden Flüſſigkeit, fügt dann die Röhre wieder ein und ſetzt den Apparat wieder zuſammen. Nun ſteht die Flüſſigkeit über dem Queckſilber; die Dämpfe können alſo beim Erwärmen nicht entweichen, ſondern preſſen daſſelbe in die Röhre



hinein, die an einer metallenen Scala befestigt ist. Man erhitzt so lange bis das Thermometer im oberen Theil des Cylinders genau 100° C. zeigt und liest dann den Stand des Quecksilbers ab, wodurch man sogleich den Alkoholgehalt der Flüssigkeit bis auf 0,1 Proc. erfährt, da der Raum zwischen dem Nullpunkt der Scala, dem reinen Wasser entsprechend, und dem höchsten Punkte, dem reinen Alkohol entsprechend, in 1000 Theile getheilt ist.

Diese Operation ist leicht auszuführen und liefert genaue Resultate, welche durch Gegenwart von Extract, Gummi, Zucker etc. nicht beeinträchtigt werden; nur die Kohlensäure muß durch Zusatz von frisch gebranntem Kalk entfernt werden. Dadurch werden zugleich noch andere Stoffe entfernt, welche Gase entwickeln, also das Resultat ungenau machen könnten. Die Flüssigkeit muß von dem Niederschlage abfiltrirt werden.

Im wissenschaftlichen Sinne bezeichnet das Wort Alkohol eine Klasse von Körpern, die zu demselben Typus gehören und eine homologe Zusammensetzung besitzen. Wie bei den Salzen, Metallen und Säuren finden wir auch in der Familie der Alkohole Körper mit sehr verschiedenen Eigenschaften. So z. B. solche, die nicht flüchtig, ja nicht einmal flüssig sind und anstatt leicht zu verbrennen, eine sehr hohe Temperatur zum Entzünden erfordern. Andererseits aber stimmen diese Körper in ihrem chemischen Verhalten überein. Durch die Einwirkung gewisser oxydirender Körper, verlieren sie 2 Aeq. Wasserstoff und statt dessen treten 2 Aeq. Sauerstoff ein, wodurch sich die Alkohole in Säuren verwandeln. Unter Umständen wird zwar der Wasserstoff ausgeschieden, ohne daß Sauerstoff dafür eintritt; dann entstehen aus den Alkoholen Aldehyde. Bringt man die Alkohole mit Substanzen zusammen, die eine große Verwandtschaft zum Wasser haben, wie z. B. Schwefelsäure, Phosphorsäure und Chlorzink, so geben erstere unter Umständen 2 Aeq. Wasser ab und bilden Kohlenwasserstoffe, oder sie geben 1 Aeq. Wasser ab, so daß Aether entsteht.

Die zahlreichen Mitglieder dieser Klasse haben wir als Drydhydrate gewisser Kohlenwasserstoffradikale anzusehen, die sämmtlich in ihrer Zusammensetzung um eine bestimmte Anzahl an Kohlenstoff- und Wasserstoffäquivalenten variiren. Die wichtigsten dieser Alkohole führen wir nachstehend an. Ihre Beziehung zu den Radikalen und Aethern wird durch die Zusammenstellung klar werden.

	Radikale.	Dryde oder Aether.	Drydhydrate oder Alkohole.
Methyl	$C^2 H^3$	Methyloryd $C^2 H^3 O$	Methylalkohol $C^2 H^3 O + H_2O$.
Aethyl	$C^4 H^5$	Aethyloryd $C^4 H^5 O$	Aethylalkohol $C^4 H^5 O + H_2O$.
Propyl	$C^6 H^7$	Propyloryd $C^6 H^7 O$	Propylalkohol $C^6 H^7 O + H_2O$.
Butyl	$C^8 H^9$	Butyloryd $C^8 H^9 O$	Butylalkohol $C^8 H^9 O + H_2O$.
Amyl	$C^{10} H^{11}$	Amyloryd $C^{10} H^{11} O$	Amylalkohol $C^{10} H^{11} O + H_2O$.
Caproyl	$C^{12} H^{13}$	Caproyloryd $C^{12} H^{13} O$	Caproylalkohol $C^{12} H^{13} O + H_2O$.
Denanthyl	$C^{14} H^{15}$	Denanthyl- oryd $C^{14} H^{15} O$	Denanthyl- alkohol $C^{14} H^{15} O + H_2O$.
Capryl	$C^{16} H^{17}$	Capryloryd $C^{16} H^{17} O$	Caprylalkohol $C^{16} H^{17} O + H_2O$.
Cetyl	$C^{32} H^{33}$	Cetyloryd $C^{32} H^{33} O$	Cetylalkohol $C^{32} H^{33} O + H_2O$.
Ceretyl	$C^{54} H^{55}$	Ceretyloryd $C^{54} H^{55} O$	Ceretylalkohol $C^{54} H^{55} O + H_2O$.
Melissyl	$C^{60} H^{61}$	Melissyloryd $C^{60} H^{61} O$	Melissylalkohol $C^{60} H^{61} O + H_2O$.

Jeder dieser Alkohole bildet also, wie bereits angeführt, eine Säure und ein Aldehyd, wie sich aus nachstehender Zusammenstellung ergibt. Von den letzteren sind indessen nicht alle bekannt, wie auch die vorstehende Zusammenstellung noch einzelne Lücken enthält.

Alkohole.	Säuren.	Aldehyde.
Methylal- kohol $C^2 H^3 O + HO$	Ameisen- säure $C^2 H O^3 + HO$	Formalde- hyd $C^2 H O + HO$.
Aethylal- kohol $C^4 H^5 O + HO$	Essigsäure $C^4 H^3 O^3 + HO$	Acetalde- hyd $C^4 H^3 O + HO$.
Propylalkoh. $C^6 H^7 O + HO$	Propyls. $C^6 H^5 O^3 + HO$	
Butylalkoh. $C^8 H^9 O + HO$	Butters. $C^8 H^7 O^3 + HO$	
Amylalkoh. $C^{10} H^{11} O + HO$	Valerians. $C^{10} H^9 O^3 + HO$	Valaldehyd. $C^{10} H^9 O + HO$.
Capryl- alkohol $C^{12} H^{13} O + HO$	Caprons. $C^{12} H^{11} O^3 + HO$	
Denanthyl- alkohol $C^{14} H^{15} O + HO$	Denanthyl- säure $C^{14} H^{13} O^3 + HO$	
Capryl- alkohol $C^{16} H^{17} O + HO$	Capryl- säure $C^{16} H^{15} O^3 + HO$	
Cetylalkoh. $C^{32} H^{33} O + HO$	Cetylsäure $C^{32} H^{31} O^3 + HO$	
Geranyl- alkohol $C^{34} H^{35} O + HO$	Gerotin- säure $C^{34} H^{33} O^3 + HO$	
Melissyl- alkohol $C^{60} H^{61} O + HO$	Melissin- säure $C^{60} H^{59} O^3 + HO$	

Bis jetzt ist es noch nicht gelungen, aus diesen Säuren die entsprechenden Alkohole darzustellen.

Das Methylorydhydrat (Holzgeist, Holzalkohol) entsteht bei der trocknen Destillation des Holzes. Er ist in der dabei auftretenden wässerigen Flüssigkeit neben Essigsäure, Aceton, brenzlichen Oelen u. enthalten. Durch Sättigen mit Kalkhydrat scheidet sich ein Theil des brenzlichen Oeles ab und zugleich wird die Essigsäure gebunden. Durch Destillation erhält man dann den rohen Holzgeist des Handels, den man durch öfteres Rectificiren über frisch gebrannten Kalk von den Brandölen befreien und farblos erhalten kann. Der Holzgeist ist in fast allen seinen Eigenschaften dem gewöhnlichen Alkohol analog. Er hat im reinen Zustande einen ähnlichen Geruch, brennenden Geschmack und wirkt physiologisch dem gemeinen Alkohol höchst ähnlich. Er bewirkt eine vorübergehende Berausung und bei größeren Gaben einen scheintod-ähnlichen Schlaf. Specifisches Gewicht 0,79. Er brennt mit blauer Flamme. In England, wo der gewöhnliche Spiritus der Steuer wegen sehr theuer ist, wird der Holzgeist statt des gewöhnlichen Alkohols zum Speisen der Lampen und zu anderen technischen Zwecken verwendet. In Nordamerika sollen zu diesem Behuf große Mengen desselben fabricirt werden. Seitdem auch bei uns die Spirituspreise enorm in die Höhe gegangen sind, verlohnt sich auch hier die Abscheidung des Holzgeistes. Dies geschieht z. B. in der Schweiz, im Schwarzwalde, in Chemnitz u.

Der Propylalkohol ist von Berthelot künstlich aus dem Propylen ($C^6 H^6$) dargestellt worden. Dieser Alkohol brennt wegen seines größeren Kohlenstoffgehaltes mit stärker leuchtender Flamme als der gewöhnliche Weingeist. Nach

Chancel soll dieser Alkohol in dem Fuselöl des aus Weintrebern bereiteten Brantweins vorkommen.

Der Butylalkohol findet sich in demjenigen Theile des Kartoffel-Fuselöls, der zwischen 108 und 118° C. überdestillirt. Es ist eine farblose, stark lichtbrechende Flüssigkeit, leichter als Wasser und riecht dem Amylalkohol ähnlich, jedoch weniger unangenehm und mehr weinartig.

Der Amylalkohol ist gleichfalls im Fuselöl enthalten. Das Fuselöl, der unreine Amylalkohol tritt besonders gegen das Ende der Brantweindestillation auf und zwar in solchen Massen, daß man ihn in großen Brennereien statt des gewöhnlichen Oeles zur Beleuchtung benützt. Um den Amylalkohol rein darzustellen, schüttelt man das Fuselöl mit Wasser, destillirt über kohlensaures Natron und zuletzt über Chlorcalcium und fängt erst das bei 132° C. Uebergehende auf. Der reine Amylalkohol ist eine farblose, leicht bewegliche Flüssigkeit mit einem durchdringenden, betäubenden und reizenden Geruch und einem brennenden Geschmack. Er ist wenig im Wasser löslich, mischt sich aber mit Alkohol und Aether in allen Verhältnissen. Der Luft ausgesetzt, reagirt er nach einiger Zeit sauer; wahrscheinlich hat sich etwas Baldriansäure gebildet. Spec. Gew. 0,81.

Die Londoner Industrieausstellung brachte die überraschende Thatsache, daß man dieses sehr übelriechende Fabrikat zu mannichfachen Zwecken in der Parfümerie und der feinen Conditorei verwendet. Hier waren verschiedene wohlriechende Oele unter dem Namen Fruchtäther oder Fruchtessenzen ausgestellt, die von Hofmann als Amylorhydrverbindungen erkannt wurden. Der Aepfeläther besteht im Wesentlichen aus Valeriansäureamyläther, der Birnenäther aus essigsaurem Amylorhyd, der Aprikosenäther aus Buttersäureäther mit etwas Amylalkohol, der Erdbeeräther aus Essigsäureäther mit essigsaurem Amylorhyd und Buttersäureäther. Die Aether werden in verschiedenen Verhältnissen in Weingeist gelöst, je nach der Intensität des Geruchs, welchen man zu erhalten wünscht. Das Aroma wird meistens durch einen geringen Zusatz von Chloroform erhöht. Diese Essenzen ahmen den Geruch der betreffenden Früchte auf so täuschende Weise nach, daß Hofmann glaubt, man würde ihn aus den Früchten selbst darstellen können, wenn man eine hinreichende Menge derselben verarbeitete.

Das essigsaure Amylorhyd erhält man, wenn man 1 Th. Amylalkohol mit 1 Th. Schwefelsäure und 2 Th. essigsaurem Kali destillirt. Das Destillat wird mit Wasser, dem etwas kohlensaures Natron zugelegt worden ist, gewaschen und dann über Magnesiumoxyd destillirt. Nach Fehling kann man diesen Aether auch ohne Destillation erhalten. Man mischt 1 Th. Essigsäurehydrat — Eisessig — mit $\frac{1}{2}$ Th. Schwefelsäure und 1 Th. Amylalkohol und erhält das Gemisch einige Stunden lang bei einer Temperatur von 100°. Dann wäscht man den Aether, um die freie Säure zu entfernen.

Das valeriansaure Amylorhyd bereitet man auf folgende Weise. Man bringt $5\frac{1}{2}$ Th. saures chromsaures Kali und 5 Th. Wasser in einen Destillationsapparat und fügt dann allmählig ein Gemisch von 1 Th. Amylalkohol und 5 Th. Schwefelsäure hinzu. Die Einwirkung ist so stark, daß ein Sieden eintritt. Sobald dieses aufhört, vollendet man die Destillation durch Wärme. Das Destillat bildet zwei Schichten; die obere ist eine Mischung von Valeriansäure und valeriansaurem Amylorhyd, die untere eine Lösung der Valeriansäure im Wasser. Neutralisirt man die Säure mit kohlensaurem Natron, so scheidet sich der Aether ab. Hat

man diesen entfernt, so dampft man die Lösung des valeriansauren Natrons bis auf ein geringes Volumen ein und scheidet nach dem Erkalten durch Zusatz von Schwefelsäure die Valeriansäure ab. Mit dieser bereitet man nach der eben beschriebenen Methode von Bechling den Aether, indem man $1\frac{1}{4}$ Th. der Säure mit 1 Th. Amylalkohol und 1 Th. Schwefelsäure mischt.

Nach Gayet soll der Capryl-, Denanthyl- und der Caprylalkohol in den Fußelölen des Spiritus von Weinstressern vorkommen. Der erstere ist eine stark lichtbrechende, klare, sehr aromatische, in Wasser unlösliche Flüssigkeit. Specifisches Gewicht bei $0^{\circ} = 0,833$ und bei $100^{\circ} = 0,754$.

Der Cetylalkohol kommt als Aethal im Wallrath vor. Er wird bei Verseifen des letzteren mit kautischen Alkalien abgetrennt und ist ein weißer, fester, geschmackloser Körper. Nach den Untersuchungen von Heintz ist aber das Aethal kein chemisch reiner Körper, sondern ein Gemisch von 4 verschiedenen Alkoholarten*). Der Ceroylalkohol, das Cerotin wird beim Verseifen des chinesischen Wachses erhalten. Es ist ein fester Körper, der bei 79° schmilzt. Der Melissylalkohol, das Melissin kommt gleichfalls in den Wacharten vor; es schmilzt bei 85° .

In neuerer Zeit ist die Klasse der Alkohole noch weiter ausgedehnt. Berthelot hat bei seinen Untersuchungen über die Synthese der neutralen Salze gezeigt, daß das Glycerin genau dieselben Beziehungen zum Alkohol zeigt, wie die dreibasische Phosphorsäure zu der einbasischen Salpetersäure. Der Alkohol bildet mit den Säuren nur eine Reihe neutraler Verbindungen, die Aether, während das Glycerin drei bestimmte Reihen neutraler Verbindungen bildet. Berthelot nennt daher das Glycerin einen dreiatomischen Alkohol**). Ferner sind auch das Mannit, Dulcin u., in demselben Sinne, wie das Glycerin, polyatomische Alkohole***). Diese Theorie läßt sich auf eine große Anzahl anderer Körper, wie Salicin, Populin, Tannin, Amygdalin u. ausdehnen, die alle fähig sind sich in 2, 3 oder 4 bestimmte Verbindungen zu spalten unter Aufnahme von Wasser und Regeneration eines der Glucose ähnlichen Zuckers.

In neuerer Zeit haben Wulff und nach ihm Puff, Eimprich und Wicke mehrere zwiatomische Alkohole entdeckt, die hinsichtlich ihrer Eigenschaften und ihrer Zusammensetzung als intermediäre Verbindungen zwischen den eigentlichen, einatomischen Alkoholen und dem dreiatomischen Glycerin zu betrachten sind.

W. B.

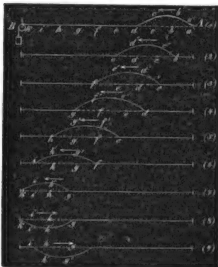
Wellenbewegung. Wenn das Gleichgewicht der Theilchen eines Körpers an einer Stelle gestört wird, so werden die aus ihrer Gleichgewichtslage gebrachten Theilchen das Bestreben haben, in diese Lage zurückzukehren. So lange nun die Theilchen sich der Gleichgewichtslage abwechselnd nähern und davon entfernen, befindet sich der Körper in einer schwingenden Bewegung (Oscillation, Vibration). Schreitet die schwingende Bewegung von dem Orte der Gleichgewichtsstörung successiv von Theilchen zu Theilchen fort, so ist die Schwingung eben eine fortschreitende, und eine solche fortschreitende Schwingung nennt man eine Wellenbewegung (motus undulatorius).

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVI. S. 1.

**) Compt. rend. T. XLV. p. 173.

**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVII. S. 235 und LXIX. S. 430.

Die Bewegung läßt sich nach dem Vorgange der Gebrüder Weber *) sehr wohl erläutern durch die Beobachtung der fortschreitenden Schwingung an einem aufgespannten Seile. Bringt man ein gespanntes Seil bei b (s. beistehende Figur) in der Nähe seines eines Befestigungspunktes durch einen plötzlichen Stoß in der Richtung nach aufwärts aus seiner Lage, und überläßt es dann sich selbst; so wird



dadurch in dem Augenblick des Stoßes nur die Strecke des Seiles, welche der gestoßenen Stelle sehr nahe liegt, aus ihrer Ruhelage gebracht, so daß z. B. die Punkte a b c d die Lage a' b' c' d' annehmen. Hierdurch wird eine nach dem entgegen-
gesetzten Ende B fortschreitende schwingende Bewegung (Wellenbewegung) veranlaßt. Die Linien (1 bis 9) stellen dasselbe Seil in den nächsten Zeitabschnitten dar, und geben eine Vorstellung von der successiv erfolgenden Veränderung der ursprünglichen Lage der Punkte a b c d e f g h i k. Nachdem nämlich seit der Verendung des Stoßes ein erster Zeittheil verfloßen ist, rückt den Versuchen zufolge die nach oben gerichtete Ausbeugung a b c d nach h e d e

weiter fort, Fig. (2). In einem zweiten gleich großen Zeittheil sieht man sie in e d e f, in einem dritten bei d e f g, in einem vierten bei e f g h, in einem fünften bei f g h i und in einem sechsten bei g h i k. Sobald die Ausbeugung den zweiten Befestigungspunkt B erreicht hat, schreitet sie auf demselben Wege rückwärts nach A, nachdem sie bis jetzt nach B vorwärts gegangen war, nur mit dem Unterschiede, daß die Welle, die vor der Anprallung bei B ihre Ausbeugung nach oben wendete, sich nun in eine nach unten gerichtete Ausbeugung verwandelt, so wie man sie bei Fig. 8 und 9, von k i h g nach i h g f dargestellt sieht. Die Gebrüder Weber sahen eine und dieselbe Welle an einem 50 Ellen langen Seile, von der Dicke eines halben bis ganzen Zolles, wohl 12 bis 16 Mal mit einer sich gleichbleibenden Geschwindigkeit hin und herlaufen, wobei sie jedesmal, wenn sie von A nach B lief, eine nach oben gewendete, wenn sie von B nach A zurücklief, eine nach unten gerichtete Ausbeugung bildete.

Die Fortbewegung der Welle oder der Ausbeugung, von a h e nach dem entgegen-
gesetzten Ende des Seiles und rückwärts, ist, wie leicht ersichtlich, nur eine scheinbare Bewegung eines und desselben Körpers, keine wirkliche. Die wirkliche Bewegung, die diesen Schein veranlaßt, ist eine successiv Schwingung der ein-

*) Wellenlehre auf Experimente gegründet, Leipzig 1828. S. 3 ff.

zelnen Theilchen des Seiles nach aufwärts und wieder nach ihrem vorigen Orte zurück nach abwärts. Der zuerst gestoßene Punkt *b* z. B. bewegt sich aufwärts nach *b'*, und dann wieder abwärts zurück nach *b*, und alle anderen Punkte des Seiles vollziehen eine ähnliche Bewegung. Da aber die einzelnen Theilchen des Seiles nicht gleichzeitig in diese Bewegung gerathen, so befinden sich die Theilchen, die an der Bildung einer Welle oder Ausbeugung zu gleicher Zeit Antheil nehmen, jedes an einer anderen Stelle seiner Schwingungsbahn. Ist die Welle bei 2 in *b e d*, so hat *a* seinen Weg nach aufwärts und wieder zurück schon durchlaufen; *b* hat seinen Weg nach aufwärts ganz, und den Weg nach abwärts fast ganz vollendet; *c* befindet sich fast an der Stelle, wo es den höchsten Punkt seiner Bewegung nach aufwärts erreicht und den Rückweg nach abwärts anzutreten beginnt; *d* hat seinen Weg nach aufwärts erst zur Hälfte zurückgelegt, *e* denselben so eben erst begonnen, während *f* sich noch in seiner ursprünglichen Lage befindet. Wenn also die Theilchen des Seiles, welche in irgend einem Zeitmoment zur Bildung der vorderen Hälfte der Welle beitragen, sich nach aufwärts bewegen, kehren die, welche die hintere Hälfte derselben darstellen, nach abwärts zu ihrer Ruhelage zurück, und zwischen beiden Hälften liegt der höchste Punkt der Ausbeugung in der Mitte. Jeder Punkt des Seiles, an dem die Welle desselben vorübergeht, nimmt, während er zur Bildung der Welle beiträgt, nach und nach alle Stellen in der fortschreitenden Welle ein. So der Punkt *e*, der bei (1) noch vor der Welle *a b e d*, bei (2) am Fuße der etwas fortgeschrittenen Welle, bei (3) dem Gipfel derselben ganz nahe liegt, bei (4) am Hintertheil derselben herabzusteigen anfängt, bei (5) sich dem hinteren Fuße derselben ganz genähert hat, und endlich bei (6) hinter der weiter fortgeschrittenen Welle zurückgelassen worden ist.

Man wird erkennen, daß die sich fortbewegende Welle nur eine Form ist, die während ihres Fortrückens immer von anderen Theilchen des Seiles gebildet wird. Die Bewegung pflanzt sich in der Richtung, in welcher sich die Wellen des Seiles zu bewegen scheinen, von Theilchen zu Theilchen fort, allein die Bewegung dieser Theilchen selbst geschieht in einer ganz anderen Richtung. Der Stoß, den das Theilchen *b* in (1) zuerst nach aufwärts erhielt, wird successiv allen Theilchen des Seiles bis zu dem anderen Ende *B* mitgetheilt, die Punkte aber, welche den Stoß zuerst erhielten, werden wegen ihrer nahen Befestigung am Punkte *A*, und durch die Spannung, die sie erleiden, zu dem Orte ihrer anfänglichen Lage nach abwärts sogleich mit beträchtlicher Kraft zurückgetrieben, und auch diese nach abwärts gerichtete Bewegung pflanzt sich von Theil zu Theil durch das Seil fort, so daß also alle Theilchen des Seiles successiv nach aufwärts, und dann nach abwärts getrieben werden.

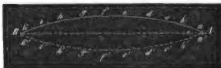
Die Wellenbewegung haben wir als einen sehr häufig in der Natur stattfindenden Vorgang zu betrachten, da die Bedingungen der fortschreitenden Schwingung fast überall gegeben sind.

Seltner ist eine zweite Art von schwingender Bewegung, nämlich die sogenannte stehende Schwingung (*oscillatio fixa*), zu deren Auftreten mehrere Umstände zusammentreffen müssen. Dieselbe kommt vor an tönenden Körpern; tönende Saiten, Scheiben, Glocken, die in Orgelpfeifen tönende Luft u. befinden sich in einer stehenden Schwingung. Sie ist jedoch nicht allein in festen und gasförmigen, sondern auch, wie die Gebrüder Weber zuerst gefunden haben, in tropfbarflüssigen Körpern möglich. Der Unterschied zwischen der stehenden und

fortschreitenden Schwingung besteht in folgendem: 1) Bei der stehenden Oscillation eines Körpers fangen alle Punkte desselben ihre Schwingung gleichzeitig an, und vollenden sie auch in gleicher Zeit, bei der fortschreitenden Oscillation eines Körpers geräthen sie dagegen successiv in Schwingung, und die zuerst in Schwingung versetzten sind die Ursache der Schwingung, in welche successiv die übrigen gerathen. 2) Bei der stehenden Oscillation üben alle Punkte, die zu einem schwingenden Körper gehören, wechselseitig einen gleich großen bewegenden Einfluß auf einander aus, und daher ändert ein schwingender Punkt durch Mittheilung von Bewegung die Schwingung benachbarter Punkte nicht ab; sobald nämlich jeder Punkt von den ihm benachbarten Punkten so viel bewegende Kraft empfängt, als er ihnen selbst abgibt, muß jeder Punkt seine schwingende Bewegung unverändert beibehalten. Dagegen ist die Spannung zwischen den Theilchen, die zur Bildung einer Welle (fortschreitenden Schwingung) beitragen, ungleich groß, so daß die Welle nach der Seite hin, wo die Spannung zwischen den Theilchen geringer ist, fortschreitet, und die Ursache, welche jedes Theilchen der vorderen Hälfte einer Welle bewegt, liegt in dem überwiegenden Einflusse, den jedes hinter ihm gelegene Theilchen auf dasselbe ausübt. 3) Bei der stehenden Oscillation empfängt daher jedes schwingende Theilchen von entgegengesetzten Seiten her einen gleich großen Antrieb zur Bewegung, während den Theilchen eines Körpers, welcher in den Zustand einer fortschreitenden Schwingung geräth, von der Seite her, von welcher die Welle kommt, nicht aber gleichzeitig von der entgegengesetzten, wohin die Welle geht, Bewegung mitgetheilt wird.

Die Gebrüder Weber erläutern diese Sätze durch folgende Beispiele.

Bringt man eine zwischen A und B ausgespannte Saite, die im Zustande der Ruhe die Lage der geraden Linie AB (i. d. stehende Figur) einnimmt, in die Lage wie a' b' c' . . k', in welcher alle Theile in gleicher Spannung sein mögen, und wird sie hierauf sich selbst überlassen, so fangen alle Theile gleichzeitig an sich in



der Richtung nach a h c . . k zu bewegen; sie kommen bei dieser Bewegung gleichzeitig in der Linie AB an, und vollenden ihren Weg auch in gleicher Zeit bis a h c . . k. Von hier an treten sie ihren Rückweg gleich-

zeitig an und vollenden ihn auch bis a' b' c' . . k' in gleicher Zeit. So schwingen alle Punkte zugleich mehrmals hin und her, in der Art, daß die Excursionen derselben in Folge des Hindernisses, das sie durch die Friction erfahren, nach und nach kleiner werden. — Hierbei ist die ganze Saite in Spannung, und die Punkte a' b' c' d . . k' wirken jeder auf die ihm benachbarten mit einer gewissen bewegenden Kraft, so daß jeder Punkt nicht von einer Seite her, sondern von entgegengesetzten Seiten einen bewegenden Einfluß erfährt. Erleidet nun der Punkt b von a und c einen gleich großen bewegenden Einfluß als der ist, welchen er selbst auf die beiden Punkte ausübt, so bleibt seine Schwingung durch die Schwingung jener unverändert *).

*) Vergl. Euler, de motu vibratorio filii flexilis quocunque pondusculis onusti. Novi Commentarii Ac. Sc. Imp. Petrop. Tom. IX. pro annis 1762 et 1763. Petropoli 1764. p. 216.

In derselben Weise verhält es sich, wenn eine Saite $A'B'$ in die Lage $a'b'e'd'e'$ (s. bestehende Figur), worin, der Voraussetzung nach, alle Theile in gleicher Spannung sind, gebracht worden ist, und sich selbst überlassen wird.



Indem b' von den ihm benachbarten Punkten nach A' und nach B' zu, d. h. nach entgegengesetzten Richtungen zugleich, aber auch von beiden nach aufwärts gezogen wird, bewegt es sich in der mittleren

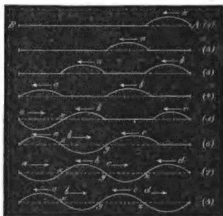
Richtung nach b ; auch d' wird von den ihm benachbarten Punkten nach A' und nach B' , zugleich aber auch von den beiden ihm zunächst liegenden Punkten nach abwärts gezogen, so daß es den mittleren Weg nach d einschlägt. c ist den Wirkungen entgegengesetzter sich aufhebender Kräfte unterworfen, insofern es von dem einen ihm benachbarten Punkte in der Richtung nach A' und zugleich nach aufwärts, von dem anderen in der Richtung nach B' und zugleich nach unten gezogen wird; es bleibt daher unbewegt und wird zum Schwingungsknoten. — Das Hinderniß aber, um dessentwillen bei der stehenden Schwingung die Schwingung jedes einzelnen Theilchens nicht sichtbar auf die benachbarte Strecke desselben Körpers fortschreitet, liegt nun eben in der Schwingung der andern Theile dieser Strecke.

Eine stehende Oscillation eines Körpers kann nun auf zwei verschiedenen Wegen herbeigeführt werden. Nämlich einmal so, daß man alle einzelnen Theile eines zu einer Oscillation tauglichen Körpers gleichzeitig so in Bewegung setzt, daß sie alle zugleich in Schwingung gerathen und, zufolge ihrer gleichen Spannung, sich gegenseitig in ihrer Schwingung nicht stören, und dieselbe auch in gleicher Zeit vollenden, und von Neuem beginnen. Und dies kann oft dadurch geschehen, daß man alle Theilchen des schwingenden Körpers in eine bestimmte Lage, und zwar in eine solche nöthigt, die sie von selbst zu gleicher Zeit und mit gleicher Kraft zu verlassen streben. Weit häufiger als auf diesem Wege wird in der Wirklichkeit die stehende Schwingung auf einem andern herbeigeführt, den die Gebrüder Weber insbesondere hervorgehoben haben. Dieser Weg besteht darin, daß mehrere gleich lange Wellen, deren Länge einem aliquoten Theile der schwingenden Linie oder Fläche gleichkommt, einander in entgegengesetzter Richtung und mit gleicher Kraft begegnen, so daß sie durch ihren wechselseitigen Einfluß auf einander ihre fortschreitende Schwingung in eine stehende verwandeln.

AB (obige Figur) sei ein an beiden Enden befestigtes Seil (von hinreichender Länge und Dicke, und nicht zu sehr gespannt), an dem durch einen plötzlichen Stoß nach aufwärts die Welle abc erregt werde. Diese schreitet nach Verlauf eines gewissen Zeitraumes nach d' fort, wo sie dann als die durch Punkte angegebene Ausbreitung erscheint. Nach Verlauf eines zweiten gleich großen Zeitraumes ist die Welle cde' am Befestigungspunkte B abgeprallt, wobei sie die Lage cde annimmt und das Bestreben gewinnt, nach A fortzuschreiten. Gesezt nun, es sei genau in demselben Zeitraume eine neue Welle abc durch einen nach aufwärts gerichteten Stoß erregt worden, welche nach B fortzuschreiten strebt, so werden die beiden Wellen abc und cde bei c auf einander stoßen. Beide Wellen üben aber auf den Punkt c einen entgegengesetzten Einfluß aus; die Welle abc zieht

ihn aufwärts, die Welle $c d e$ mit einer gleich großen Kraft abwärts. Daher wird dieser Punkt unbewegt bleiben. Wie nun die Wellen, sobald sie an die festen Punkte A und B anprallen, erfahrungsmäßig von demselben zurückgeworfen werden, und dabei eine umgekehrte Lage annehmen, vergehst, daß ihre Ausbeugung, wenn sie vor dem Anprallen nach aufwärts gerichtet war, nach dem Abprallen nach unten gekehrt ist, so wird auch die Welle $a b c$, die nach B fortschreitet, und die Welle $c d e$, die nach A fortrückt, von den beiden gemeinsamen festen Punkte e abprallen und dabei die umgekehrte Lage annehmen.

Ebenso können zwei, drei, vier und mehr Schwingungsknoten entstehen, wenn die Länge der in regelmäßigen Zeitabschnitten erregten Wellen dem dritten, vierten, fünften oder irgend einem aliquoten Theil des Seiles an Größe gleich kommt. An dem Seile AB sei bei A eine Welle a erregt (s. beistehende Figur), deren Länge gleich dem vierten Theil des ganzen Seiles ist. Diese Welle schreitet



in einem zweiten Zeitraume um so viel als ihre Länge beträgt, fort (2), und nach Verlauf eines dritten gleich großen Zeitraumes, während dessen die Welle a um das Doppelte ihrer Länge fortgeschritten ist, hat man am befestigten Ende A eine neue Welle b erregt (3). Die beiden Wellen a und b, die nun eine Wellenlänge von einander entfernt sind, rücken in einem vierten Zeitraum, je um so viel als ihre Länge beträgt, vorwärts, wobei die Welle a am Befestigungspunkte B anlangt (4). Hier ist dieselbe nach einem fünften gleich

großen Zeitabschnitt abgeprallt und hat die umgekehrte Lage angenommen, während die Welle b, die zuvor um eine Wellenlänge von a entfernt war, bei x auftrifft (5), und indem nun x von b nach oben und von a nach unten mit gleicher Kraft gezogen wird, bildet es einen unbeweglichen Punkt (Knotenpunkt), an welchem die beiden Wellen so, wie an festen Punkten zurückgeworfen werden. Sei nun zugleich am Ende A die neue Welle c erregt. Während in einem sechsten gleich großen Zeitabschnitte die Wellen a und b bei x von einander abprallen, kehren sie auch ihre Lage um: a wendet seine Krümmung nach aufwärts, b die seinige nach abwärts, wobei sich a nach B und b nach A zu bewegen strebt, statt daß beide, ehe sie gegenseitig von einander abprallten, die umgekehrte Richtung hatten. Der Welle b kommt aber, nachdem sie abgeprallt ist, die Welle c entgegen, welche in demselben Zeitraume bei y auf b in umgekehrter Richtung trifft (6). Während nun im siebenten Zeitraume die Welle a von dem befestigten Punkte B abprallt, prallen zugleich b und c bei y von einander ab und nehmen eine umgekehrte Lage an; hiernach hat c das Bestreben sich nach A hinzubewegen, wobei es der in diesem Zeitraume neu erregten Welle d bei z begegnet (7). Von jetzt an werden sich

stets zwei Wellen in entgegengesetzten Richtungen begegnen. Im achten Zeitraume prallt *a* an dem befestigten Punkte *B* an, *b* und *c* prallen in *y* von einander ab, und prallt *d* an *A* ab (8); und im neunten Zeitraume gewinnen alle Theile wieder die Lage, die sie im siebenten hatten. Die Punkte *x*, *y*, *z* sind aber unter allen diesen Umständen, weil sich an ihnen entgegengesetzte bewegende Kräfte aufheben, als feste Punkte zu betrachten.

Bernoulli *) zeigte zuerst und nachher auch Euler auf mathematischem Wege, daß sich die fortschreitende Oscillation einer aufgehängenen mit vielen gleichweit von einander abstehenden Gewichten beschwerten Schnur, endlich von selbst in eine stehende Oscillation verwandeln müsse, nämlich in eine solche stehende Schwingung, welche mit der Schwingung eines einfachen Pendels übereinkommt.

Die Oscillationen (Vibrationen) der einzelnen Theilchen eines schwingenden Körpers können nach verschiedenen Richtungen stattfinden, und man unterscheidet in dieser Beziehung longitudinale, transversale und drehende oder rotatorische Schwingungen. Bewegen sich die schwingenden Theilchen in der Richtung des längeren Durchmessers eines Körpers hin und her, so ist die Schwingung eine longitudinale, wie dies z. B. stattfindet bei der Schwingung der tönenden Luft in einer Orgelpfeife; bewegen sich die schwingenden Theilchen in der Richtung des kürzeren Durchmessers des Körpers hin und her, wie es bei den auf gewöhnliche Weise schwingenden Saiten der Fall ist, so ist die Schwingung eine transversale. Drehende Schwingungen finden statt, wenn die schwingenden Theilchen sich in einer drehenden Bewegung befinden. — Diese Unterscheidung gilt nicht allein für die stehenden, sondern auch für die fortschreitenden Oscillationen, auch diese können entweder longitudinal, oder transversal, oder rotatorisch vor sich gehen. So beruht die Fortpflanzung der Schallwellen auf fortschreitenden longitudinalen Schwingungen; fortschreitende transversale Schwingungen sind die oben zuerst betrachteten Wellen eines Seiles oder einer Saite, und drehende fortschreitende Wellen lassen sich an einem Seile zur Darstellung bringen, das an einem Ende befestigt ist und dessen anderes Ende man mit der Hand hält. Theilt man dem Seile durch die Hand eine schnelle drehende Bewegung mit, so sieht man diese an dem Seile wiederholt hin und her laufen; und diese Wellen fanden die Gebrüder Weber sehr geeignet, um die Bildung stehender drehender Oscillationen durch das Zusammentreffen der so erregten Wellen sichtbar zu machen, und auch die Schwingungsknoten im Großen augenfällig zu machen.

Wir wenden uns nun zu einer näheren Betrachtung der Wellenbewegung tropfbarer Flüssigkeiten, deren Gesetze zuerst durch die Versuche der Gebrüder Weber schärfer und umfassender zu Tage traten.

Die Wellenbewegung in einer tropfbaren Flüssigkeit wird bedingt durch eine Gleichgewichtstörung der letzteren. Diese Gleichgewichtstörung kann durch Druck oder Stoß herbeigeführt werden, z. B. wenn man einen festen Körper oder auch einen Tropfen derselben Flüssigkeit auf die Oberfläche der Flüssigkeit fallen läßt. Man sieht dann von dem Orte der Gleichgewichtstörung eine Reihe freisörmiger

*) Commentationes de oscillationibus compositis praesertim iis quae sunt in corporibus ex filo flexili suspensis. Commentar. Petrop. Tom. XIII. ad annum 1740 Petrop. 1750.

Ringe entstehen, die abwechselnd über das Niveau der Flüssigkeit erhaben und unter dasselbe vertieft sind. Diese Wellen dehnen sich bei ihrem Fortschreiten auf einen immer größer werdenden Raum aus, wobei ihre Erhöhungen und Vertiefungen abnehmen. Läßt man einen Wassertropfen oder ein kleines Steinchen auf eine ruhige Wasserfläche fallen, so bemerkt man auch, daß bald ein Tropfen Wasser an derselben Stelle, wo der hineingefallene Körper verschwand, in die Höhe springt. Fällt eine größere Masse auf ein hinlänglich tiefes ruhiges Wasser, so sieht man dieses wiederholt an der Stelle der Gleichgewichtstörung aufspringen. Der einsinkende Körper verdrängt das Wasser zur Seite und nach oben, und bildet um den Ort des Einsinkens gleichsam einen kreisförmigen Wasserwall, der sich in zwei Hälften theilt, von denen die eine als Welle nach außen fortschreitet, während die zweite nach innen geht und die im Mittelpunkte der kreisförmigen Wellen gelegene Flüssigkeit von Neuem zu steigen nöthigt, und zwar höher als der kreisförmige Wall selbst ist. Die aufgestiegene Flüssigkeit veranlaßt nun einen zweiten Wall, so daß sich drei, vier und mehr Wellen bilden, von denen aber die späteren immer mehr an Größe abnehmen, weil die aufsteigende Wassermasse, die jedesmal eine neue Welle veranlaßt, immer kleiner wird. So kann ein einziger auf die Flüssigkeit wirkender Stoß mehrere Wellen erregen, weil sich die Flüssigkeit an der Stelle des Stoßes wiederholt erhebt und senkt. — In dem Mittelpunkte, von welchem die kreisförmigen Wellen ausgehen, tritt zuerst wieder Ruhe und Ebenheit des Wassers ein, obschon sich die ruhige, glatte Fläche von diesem Mittelpunkte aus nicht ganz in dem Verhältnisse vergrößert; in welchem die erregten Wellen fortschreiten. Während die Welle, welche die letzte unter den erregten ist, etwa um so viel als ihre Breite beträgt, fortschreitet, erregt sie hinter sich eine neue, etwas niedrigere und schmalere Welle an dem Orte, den sie im vorhergehenden Zeitraume eingenommen hatte; und diese letztere Welle erregt wieder, wenn sie etwa um so viel als ihre Breite beträgt, sich erweiternd fortgeschritten ist, auf dieselbe Weise eine neue noch kleinere Welle, die in derselben Richtung wie sie selbst fortschreitet. Es gilt das Gesetz, daß eine vorausgehende Welle jede zunächst nachfolgende, ihr parallele concentrische Welle durch eine besondere Rückwirkung verstärkt, oder, wenn ihr keine Welle nachfolgt, in dem Zeitraume, in welchem sie ihre Breite durchläuft, eine neue hinter sich veranlaßt. Und damit hängt es auch zusammen, daß je weiter ein Wellenzug fortschreitet, desto gleicher die hinter einander fortgehenden parallelen Wellen sowohl hinsichtlich des Abstandes von einander, als auch der Höhe und Breite werden. Es versteht sich nun von selbst, daß diejenige Welle, welche allen anderen vorausgeht, und also keine Welle vor sich hat, sich nicht so lange hoch erhalten kann, als andere, die durch die ihnen vorausgehenden immer unterstützt und verstärkt werden.

In einer Flüssigkeit, die in einem Gefäße enthalten ist, lassen sich auch dadurch Wellen erregen, daß man den Rand durch einen plötzlichen Stoß erschüttert. Dieser Stoß theilt sich dann von allen Punkten des Randes der den letzteren berührenden Flüssigkeit fast augenblicklich mit. In diesem Falle gehen Wellen vom Rande des Gefäßes aus, die in einem immer kleiner werdenden Raume zusammenlaufen, und sich dabei beträchtlich an Länge verkürzen, so daß sie unter gewissen Umständen in einem Punkte vereinigt werden können.

Bei den Wellen in tropfbaren Flüssigkeiten lassen sich zwei Theile unterscheiden; der eine ist über dem horizontalen Niveau der Flüssigkeit erhaben, der

andere unter demselben vertieft. Jenen Theil nennt man den Wellenberg,

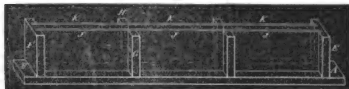
I.



diesen das Wellenthal. Jede Welle erscheint als eine Verbindung von Berg und Thal. Nebenstehende Fig. 1. zeigt die Durchschnittslinie einer Welle. abc ist der Wellenberg, cde das Wellenthal. Ist h der höchste Punkt des Wellenberges, so ist die senkrechte Entfernung hx desselben von der Horizontalen ah die Höhe des Wellenberges, und wenn d der tiefste Punkt des Wellenthales ist, so ist die Senkrechte dy die Tiefe des Wellenthales. Die Höhe der ganzen Welle ae ist aber die Summe $hx + dy$ aus der Höhe des Wellenberges und der Tiefe des Wellenthales. Ferner ist ac die Breite des Wellenberges und ce die Breite des Wellenthales; endlich ae die Breite der ganzen Welle. Doch müssen wir hier bemerken, daß man ae auch die Länge einer Welle nennt, und daß diese Bezeichnung in Rücksicht der Wellenbewegung anderer Medien sogar die gewöhnliche ist. Die Hälfte bxc des Wellenberges abc nennt man den Vordertheil des Wellenberges, falls die Wellenbewegung in der Richtung ah fortschreitet, dann ist natürlich abx der Hintertheil des Wellenberges. Ebenso ist dye der Vordertheil und cyd der Hintertheil des Wellenthales.

Die Brüder Weber gebrauchten zu ihren Versuchen über die Wellenbewegung tropfbarer Flüssigkeiten eine Vorrichtung, der sie den Namen Wellenrinne gaben. Dieselbe bestand aus einem 5 Fuß 4 Zoll und eilf Linien langen geraden und glatt gehobelten Brette aus Nichtenholz AB (s. beistehende Figur), auf dem in zwei tiefen Furchen vier von einander 6 bis 7 Linien entfernte parallele

II.



Glascheiben JJ, KK senkrecht eingesetzt und so dicht befestigt waren, daß durch die Fugen weder Wasser noch Quecksilber hindurchdringen konnte. Zwei feste, senkrecht stehende Brettsstücke EF dienten außerdem noch zum Einfügen der Glascheiben an den beiden Enden des langen Brettes; auch wurden die Glascheiben durch zwei andere, um 6,7 Linien von einander abstehende, senkrechte Bretter GH in der Mitte festgehalten. Der schmale, zwischen diesen Glascheiben und Brettern eingeschlossene 5 Fuß 4 Zoll (Par. Maß) lange, 6,7 Linien im Lichten breite, und über 8 Zoll tiefe Raum ward mit verschiedenen Flüssigkeiten (Wasser, Quecksilber, Branntwein, Milch etc.) bis zu einer gewissen Höhe gefüllt. Die Wellenerregung konnte aber in der Flüssigkeit dadurch geschehen, daß man an dem einen Ende der Wellenrinne eine Glasröhre in die Flüssigkeit tauchte, eine Säule der letzteren durch Saugen mit dem Munde an der Röhre in die Höhe hob und dann wieder fallen ließ. Beim Heben der Flüssigkeit in der Röhre bilden sich Wellen mit vor-

VL.

111

angegehendem Wellenthale; läßt man aber die gehobene Flüssigkeitssäule, sobald sich das Gleichgewicht wieder hergestellt hat, plötzlich herabfallen, so entsteht eine Wellenbewegung mit vorangegehendem Wellenberg. Durch die Glaswände hindurch sieht man den senkrechten Durchschnitt der erregten Welle, und wenn dem Wasser feste Körpertheilchen beigemengt sind, die mit ihm gleiches specifisches Gewicht haben, so läßt sich die Bewegung der Flüssigkeitstheilchen während der Wellenbewegung aus der der festen Körpertheilchen erschließen. Führt man aber Flüssigkeiten von verschiedener Farbe und verschiedenem spec. Gewicht (Wasser, Quecksilber, sehr flüssige Oele, gefärbten Brantwein etc.) vermittelst eines Hebers in die Wellenrinne ein, so werden deren Oberflächen parallele horizontale Ebenen bilden, man sieht dann verschiedene horizontale Flüssigkeitsschichten, deren jede von Wellen durchlaufen wird, welche man nicht sehen würde, wenn die ganze Rinne nur von Wasser erfüllt wäre, obgleich auch dann ähnliche Wellen sich im Innern des Wassers fortbewegen würden.

Auf einen Kunstgriff, Wellen sich selbst abbilden zu lassen, wurden die Brüder Weber durch M. Seyfart aufmerksam gemacht. Man setzt nämlich eine rechtwinklig geschnittene Schiefertafel, die mit Mehl bestäubt ist, in die mit Quecksilber gefüllte Wellenrinne langsam und senkrecht hinein, so daß ihre beiden Seiten den Seitenwänden der Rinne parallel und von ihnen gleichweit entfernt sind. Indem nun das Quecksilber, soweit es die Schiefertafel berührt, den Mehlfraub von ihr hinweg nimmt, stellt sich auf ihr die Gestalt der Welle dar. Ist die Rinne anstatt mit Quecksilber mit Wasser oder Brantwein gefüllt, so kann man zu demselben Behufe eine matt geschliffene Glastafel oder eine Schiefertafel, ohne sie bestäubt zu haben, hineintauchen, da diese Flüssigkeiten von selbst an diesen Tafeln haften.

Außer der oben beschriebenen kleineren Wellenrinne wurde auch noch eine größere Wellenrinne zu diesen Untersuchungen benutzt.

Die Brüder Weber *) gelangten nun bezüglich der Bewegung der einzelnen Theilchen einer Flüssigkeit bei der Fortbewegung und Entstehung der Wellen zu nachstehenden Resultaten.

„Die Wellenbewegung der tropfbaren Flüssigkeiten ist eine fortschreitende Schwingung der Flüssigkeitstheilchen; eine Welle aber ist nur die Form einer Gesamtheit von Flüssigkeitstheilchen, in welcher sich successiv andere und andere Theilchen vereinen, vorn nach einander eintretend, hinten austretend.“

Eine Welle ist also hiernach nur eine Form der Oberfläche und der einzelnen über einander ruhenden Schichten einer Flüssigkeit. Diese Schichten haben im Zustande der Ruhe die Gestalt von horizontalen oder fast horizontalen Ebenen, während sie im Zustande der Wellenbewegung gekrümmt sind, und daher Erhebungen oder Vertiefungen darstellen. Das Fortrücken einer Welle ist also nur ein Fortrücken der bezeichneten Form; indem die Schwingung der einzelnen Theilchen durch die Flüssigkeit fortschreitet, schreitet auch die Wirkung dieser Schwingung, die Erhabenheit und Vertiefung an der Oberfläche, oder die Welle fort.

Während eine Welle, die durch einen in Wasser gefallenem Körper erregt ist, über eine große Fläche fortschreitet, ist das Wasser, welches diese Welle anfänglich bildete, an seinem Orte geblieben. Begegnet die Welle bei ihrem Fort-

*) Wellenlehre etc. S. 117 ff.

schreiten einem im Wasser schwimmenden Körper, so hebt und senkt sich dieser um die Höhe und Tiefe der Welle, aber die letztere ertheilt ihm keine fortschreitende Bewegung. — Läßt man einen Stein oder ein Stück Holz in strömendes Wasser (in einen Fluß) fallen, so entstehen auf dieselbe Weise wie im ruhigen Wasser eine Menge kreisförmiger Wellen, die von dem Mittelpunkt der Erschütterung ausgehen; doch haben in diesem Falle sowohl der Mittelpunkt der Wellen als auch die letzteren selbst die Bewegung des Flusses. Dasjenige Segment der kreisförmigen Welle, welches in der Richtung des Flusses aufwärts fortgeht, hat eine Geschwindigkeit, die man erhält, wenn man die Geschwindigkeit des Flusses von der Geschwindigkeit der Welle abzieht. Wäre die Geschwindigkeit des Flusses genau gleich der Geschwindigkeit der erzeugten Welle, so würde das stromaufwärts strebende Wellensegment auf seinem Orte stehen bleiben.

Die Schwingungsbahnen der Flüssigkeitstheilchen laufen, wenn die auf einander folgenden, unter einander verbundenen Wellenberge und Wellenthäler gleich oder fast gleich gestaltet sind, in sich selbst zurück, und sind anscheinend Ellipsen, die in der Vertikalebene liegen.“

Schreitet ein Wellenberg in der Richtung ah (s. beistehende Figur) fort, so bewegen sich die Flüssigkeitstheilchen successiv in dem Bogen abc aufwärts, vorwärts und abwärts, also im Allgemeinen in der Richtung, in welcher sich der Wellenberg selbst fortpflanzt. Der senkrechte Abstand des obersten Punktes dieser krummen Bahn von der horizontalen Niveaulinie ist der Höhe des Wellenberges über dem Niveau genau gleich. Wenn nun dem Wellenberg ein Wellenthal nachfolgt, das ebenso tief und breit als jener hoch und breit ist, so bewegt sich jedes Theilchen an der Oberfläche nach Vollendung jener Bewegung sogleich durch den Bogen cda an seinen vorigen Ort zurück, also der Richtung, in welcher das Wellenthal fortschreitet, entgegen, nach rückwärts, abwärts und aufwärts. Der senkrechte Abstand des tiefsten Punktes dieser Bahn von der horizontalen Niveaulinie ah , ist der Tiefe des Wellenthales unter dem Niveau gleich. — Während ein Theilchen a den über ah liegenden Theil der Bahn beschreibt, bildet es einen Theil des Wellenberges, und während es den unterhalb ah liegenden Bogen zurücklegt, einen Theil des Wellenthales.

Die Schwingungsbahnen der Flüssigkeitstheilchen laufen aber dann nicht in sich selbst zurück, wenn die auf einander folgenden, unter einander verbundenen Wellenberge und Wellenthäler von ungleicher Größe sind.“

Bei Wellen, denen keine andere Welle vorausgeht, sondern die vor sich Ebene haben, sind die auf einander folgenden Wellenberge und Wellenthäler mitunter nicht gleich groß, weshalb auch die den Wellenbergen und Wellenthälern entsprechenden bogenförmigen Bahnen ungleich groß sind. Es zeigte sich dann meist, daß ein Theilchen, welches sich in den Bogenstücken hin und zurück bewegt hat, nicht ganz bis zu dem Orte zurückkehrt, von dem es ausging, so daß dann auch die Bahn häufig keine ganz in sich selbst zurücklaufende Linie ist. Die Bahnen stellen sich dann nicht selten dar wie $abcde$ (Fig. I.), oder wie $abcde$ (Fig. II.), oder wie $abcde$ (Fig. III.); und in dem Falle, daß die



auf einander folgenden Wellenberge und Wellenthäler sehr an Größe verschieden sind, sogar wie a b c d e (Fig. IV.).

„Die Schwingungsbahnen der in der Nähe der Oberfläche der Flüssigkeiten befindlichen Theilchen sind anscheinend Ellipsen, die sich der Kreisgestalt nähern; mit der Tiefe wird die elliptische Gestalt der Bahnen immer gestreckter, und fällt endlich mit einer horizontalen geraden Linie zusammen, in der die Theilchen hin und her gehen.“

„Daß der senkrechte Durchmesser der Schwingungsbahnen kleiner ist als der horizontale, und daß er im Verhältnisse zu dem horizontalen in der Tiefe immer mehr vermindert wird, scheint als eine Wirkung des Bodens angesehen werden zu müssen *).“

„Die schwingende Bewegung der Flüssigkeitstheilchen ist den Versuchen zufolge selbst in einer Tiefe, welche der 350maligen Höhe der Welle über der Oberfläche gleich kommt, noch durch Vergrößerungsgläser und sogar mit bloßen Augen wahrnehmbar.“

„Daß Fortschreiten der Schwingung der Flüssigkeitstheilchen besteht darin, daß die horizontal, in der Richtung der fortschreitenden Welle, hintereinander liegenden Theilchen successiv in eine schwingende Bewegung gerathen, und zwar so, daß sich niemals mehrere derselben, die zu einer Welle gehören, gleichzeitig in entsprechenden Punkten ihrer Schwingungsbahnen befinden, sondern erst successiv in diese entsprechenden Punkte kommen.“

„In die Tiefe der Flüssigkeit hinab bemerkt man aber weder bei der Erregung, noch bei dem Fortgange der Wellen ein allmähliges Fortschreiten derselben, sondern die schwingende Bewegung scheint, wenigstens dem Anscheine nach, gleichzeitig in der Tiefe und an der Oberfläche zu geschehen, und die senkrecht oder fast senkrecht unter einander liegenden Theilchen der Flüssigkeit scheinen dem Anblicke nach gleichzeitig in die sich entsprechenden Punkte ihrer Schwingungsbahnen einzutreten.“

„Während ein Theilchen der Flüssigkeit einmal seine Bahn durchläuft, schreitet die Welle, in der sich das Theilchen jetzt befindet, um so viel als die Breite (Länge) derselben beträgt, fort, und daher durchläuft auch ein Theilchen ebenso vielmal seine Bahn, als Wellen durch den Raum gehen, wo sich das Theilchen bewegt.“ Wie viel Umläufe das Theilchen macht, so viel Wellen gehen an seinem Bewegungsorte vorüber. Ein Theilchen der Flüssigkeit, das durch irgend eine Kraft in eine drehende Bewegung versetzt ist, wiederholt also seine Umdrehung mehrmals, doch geschieht dies in immer kleineren Bahnen und in immer kürzerer Zeit. Hiermit steht es auch in nächster Beziehung, daß eine Welle, die hinter sich ebene Flüssigkeit hat, wenn sie um ihre Länge (Breite) fortgerückt ist, eine neue Welle hinter sich erregt, und daß ein einziger Stoß, z. B. eines in Wasser gefallenem Körpers, fünfzig und mehr Wellen erregt, von denen die nachfolgenden immer schmaler als die vorausgehenden sind.

„Während der senkrechte Durchmesser der Bahnen, welche die an der Oberfläche der Flüssigkeiten befindlichen Theilchen durchlaufen, genau mit der senkrechten Höhe der ganzen Welle übereinkommt, hat dagegen der horizontale Durchmesser der Bahnen, welche die Theilchen einer Flüssigkeit durchlaufen, kein bestimmtes

*) Wellenlehre S. 125.

Verhältniß zur Breite der Welle. Bei gleich hohen, aber ungleich breiten Wellen sind die Schwingungsbahnen unter übrigens gleichen Umständen in den breiteren Wellen ihrem senkrechten und horizontalen Durchmesser nach kleiner, in den schmälern größer. Umgekehrt sind die Bahnen bei gleich breiten und ungleich hohen Wellen in den höheren Wellen nach beiden Durchmessern größer als in den niedrigeren *).

„Die Länge der Zeit, in der ein Flüssigkeitstheilchen seine ganze Bahn (se mag groß oder klein sein) durchläuft, ist von dem Verhältniß der Höhe und Breite jeder Welle abhängig.“

„Die in der Nähe der Oberfläche liegenden Theilchen einer Flüssigkeit durchlaufen ihre Bahn nicht ganz so geschwind, als die senkrecht unter ihnen, von der Oberfläche entfernter liegenden Theilchen.“ Doch ist die horizontale Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen in der Tiefe dieselbe als an der Oberfläche, was sich aus der Annahme erklären läßt, daß die Wellen in der Tiefe schmaler sind als die an der Oberfläche.

Da die Breite (Länge) der Welle der Weg ist, welchen die Welle zurücklegt, während der Zeit, in welcher sich ein ihr zugehöriges Flüssigkeitstheilchen einmal in seiner Bahn herumdreht, so läßt sich auch aus dieser Zeit und der mittleren Geschwindigkeit, womit die Welle fortgeschreitet, die Breite der Welle berechnen. —

Die Wellenbewegung geschehe in der Richtung ax und $a, b, c, d, e \dots$ (s. beistehende Figur) seien in der Richtung der Wellenfortpflanzung liegende Theilchen mit ihren kreisförmigen Bahnen. Da nun die horizontal, in der Richtung der



fortschreitenden Welle, hinter einanderliegenden Theilchen successiv in die schwingende Bewegung gerathen, so daß sich niemals mehrere derselben, die zu einer Welle gehören, gleichzeitig in entsprechenden Punkten ihrer Schwingungsbahnen befinden, sondern erst successiv in diese entsprechenden Punkte kommen; so wird sich, wenn man jedes Theilchen in dem Moment betrachtet, wo das erste a seine Bahn vollendet hat und wieder seine anfängliche Lage einnimmt, während das Theilchen g eben seine Bewegung beginnt, das Theilchen b momentan in b' , c in c' , d in d' , e in e' , f in f' befinden, wodurch die Flüssigkeit die Form der Curve $ab'c'd'e'f'g$ erhält.

Was die Bewegung der einzelnen Theilchen einer Flüssigkeit bei der Entstehung der Wellen betrifft, so fand sich **), daß eine anscheinend gleichzeitige Verschiebung der Flüssigkeitstheilchen bis in große Tiefen der Flüssigkeit hervorgebracht wird, daß nach einem gewissen Gesetze jedes Flüssigkeitstheilchen, das sich in einer anderen Lage und Entfernung von dem Punkte, wo die Welle erregt wird, befindet, in einer anderen Richtung sich zu bewegen anfängt, so daß gleichzeitig

*) Vergl. Wellenlehre S. 134.

**) Wellenlehre 1c. S. 118.

manche Flüssigkeitstheilchen zum Steigen, andere zum Niedersinken gebracht werden, andere sich horizontal bewegen, und daß die Bewegungen der in die Höhe steigenden oder niedersinkenden, oder sich horizontal fortbewegenden Theilchen in einem solchen Verhältnisse zu einander stehen, daß im Innern der Flüssigkeit während der Verschiebung keine Zwischenräume und Lücken entstehen können. Ferner ergab sich, daß die Größe der Bewegung von der Oberfläche der Flüssigkeit nach der Tiefe zu sehr beträchtlich abnimmt, und daß die Theilchen, welche senkrecht unter der Oeffnung einer Röhre liegen, durch welche die Flüssigkeit eingesogen und die Wellenbewegung erregt wird, sich in einer geraden Linie senkrecht nach aufwärts, und sich in derselben Richtung ein ganz kleines Stückchen nach abwärts zurückbewegen. Die Bahnen sind desto gekrümmter, je mehr die Theilchen der Oberfläche nahe liegen, und je mehr sie zugleich von der vertikalen Lage unter der Oeffnung der Röhre abweichen. — Die innere Bewegung und Verschiebung der Wassertheilchen läßt sich hier am besten beobachten, wenn man in einer eingetauchten Röhre das Wasser über das Niveau durch Saugen erhebt, ohne es nachher wieder plötzlich niedersinken zu lassen *).

„Die Geschwindigkeit der Wellen hängt von ihrer Höhe und Breite ab, oder was dasselbe ist, von ihrer Breite und von der Schnelligkeit, mit welcher die Flüssigkeitstheilchen der Wellen ihre Schwingungsbahnen durchlaufen; denn diese Schnelligkeit ist selbst von der Höhe der Wellen abhängig.“ Hiernach wächst die Geschwindigkeit der Wellen, unter sonst gleichen Umständen, mit der Masse und Geschwindigkeit des Körpers, dessen Stoß Wellen erregt, da die Höhe und Breite der letzteren durch die Größe der wellenerregenden Kraft bedingt ist. Einfluß auf die Geschwindigkeit hat die Reibung der Flüssigkeit an den Gefäßwänden und die Nähe des Bodens. Hiermit hängt es zusammen, daß geringe Tiefe der Flüssigkeit die Geschwindigkeit der Wellen vermindert, große Tiefe sie vermehrt. Die Reibung der Flüssigkeit an den Gefäßwänden vermindert die Geschwindigkeit der Wellen, was auch durch den Widerstand der Luft geschieht, der verhältnißmäßig desto größer ist, je specifisch leichter die Flüssigkeit ist.

„In Flüssigkeiten von einem größeren specifischen Gewichte scheinen gleich große Wellen, wegen des unmittelbaren Einflusses des specifischen Gewichtes, bei übrigens gleichen Umständen, weder schneller noch langsamer fortzuschreiten, und das specifische Gewicht der Flüssigkeiten scheint daher keinen Einfluß weder zur Beschleunigung noch zur Verlangsamung der Wellen zu äußern.“ Es ist hierbei vorausgesetzt, daß das Niveau hoch genug über dem Boden liegt, damit der ungleiche Einfluß des letzteren auf verschiedene Flüssigkeiten vermieden werde, und daß die ungleiche Adhäsion verschiedener Flüssigkeiten an den Wänden des Behälters, so wie der ungleiche Widerstand der Luft berücksichtigt wird.

Die Geschwindigkeit der Meereswellen ist durch ihre Größe bedingt; kleinere Wellen pflanzen sich langsamer fort, auch vergrößert die Tiefe des Meeres, unter sonst gleichen Umständen, die Geschwindigkeit der Wellen; was wohl auf den Einfluß des Grundes zurückzuführen ist, insofern dieser die Geschwindigkeit vermindert, wenn die Wellen im Verhältniß zur Tiefe des Meeres zu groß und an ihrer vollkommenen Entwicklung gehindert werden.

*) S. Wellenlehre S. 150 ff.

Nach Horsburgh *) beträgt bei einem starken Winde oder bei einem Passatwinde die Geschwindigkeit der Wellenbewegung wahrscheinlich 20 engl. Meilen in einer Stunde. Die Wellen laufen dann einem Schiffe, das in derselben Richtung mit ihnen mit 10 bis 11 Meilen Geschwindigkeit in 1 Stunde segelt, weit vor, und die Geschwindigkeit der Wellen läßt sich in einem solchen Falle mit dem gewöhnlichen Log (s. Art. Meer, Bd. IV. S. 1006) leicht messen. Es ist nur nöthig, eine bekannte Länge der Schnur ablaufen zu lassen und mit einer Secundenuhr die Zeiten, wann der Gipfel derselben Welle erst das Log und dann das Hintertheil des Schiffes hebt, zu beobachten. Hieraus ergibt sich der Ueberschuß der Geschwindigkeit der Wellen über die bekannte Geschwindigkeit des Schiffes. — Nach dieser Methode hat David Thomson **) die Geschwindigkeit der Meereswellen durch Versuche zu bestimmen gesucht. Bezeichnet a die Geschwindigkeit, mit welcher das Schiff segelt, b die Anzahl der Fuße der Entfernung vom Schiffe bis zum Log, c die Anzahl der Secunden, welche vergehen von der Hebung des Logs bis zur Hebung des Hintertheiles des Schiffes, v die scheinbare Geschwindigkeit der Wellen nach Seemeilen gerechnet, und x ihre wahre Geschwindigkeit; so hat man für den scheinbaren Lauf der Wellen während 1 Secunde in Fußen $\frac{b}{c}$, und wäh-

rend 1 Stunde in Fußen $\frac{3600b}{c}$, und während 1 Stunde in englischen Seemeilen $\frac{3606b}{6120c} = \frac{30b}{51c}$.

Versuche, welche $36^{\circ}20'$ südl. Br. und 10° östl. L. bei einer Geschwindigkeit des Schiffes zu $6\frac{1}{2}$ engl. Seemeilen angestellt wurden, ergaben für die scheinbare Geschwindigkeit der Wellen während einer Stunde in englischen Seemeilen 22,99, und für die wahre Geschwindigkeit derselben, wenn man hierzu die Geschwindigkeit des Schiffes addirt, $(22,99 + 6\frac{1}{2}) = 29,49$ engl. Seemeilen.

J. Horsburgh macht auch die Bemerkung, daß Wellen meist weniger Geschwindigkeit in seichtem Wasser als im Ocean zu haben scheinen, und daß der Grund davon vielleicht in dem Widerstande liege, welchen die Wassertheile von dem Schlamm oder Sande, womit das Wasser dort gemengt sei, oder von der Reibung gegen den Grund erleiden. Und Bremontier *** hat dargethan, daß die Wirkung des Druckes der Wellen und des Windes sich bis auf den Grund des Meeres erstrecken und eine beträchtliche Veränderung des Bodens auf demselben verursachen könne, was auch mit den Beobachtungen und Folgerungen der Brüder Weber übereinstimmt.

Was die Erregung der Wellen durch den Wind betrifft, so ist zu bemerken, daß die Wirkung desselben auf das Wasser eine verschiedene sein kann; er kann nämlich durch seinen Druck oder Stoß das Wasser niederdrücken und hierdurch dann ebenso, wie ein in das Wasser fallender fester Körper eine Wellenbewegung veranlassen;

*) Nicholson's Journ. Vol. XV. S. 6 ff. Gilb. Ann. Bd. XXXII. S. 407. Weber, Wellenlehre S. 54.

**) Phil. Mag. No. 302. p. 408. Wellenlehre S. 54.

***) Recherches sur le mouvement des Ondes. Journ. de Phys. par de la Méthérie. Tom. LXXIX. p. 77 ff.

bewegt er sich aber horizontal längs der Oberfläche des Wassers fort, so erregt er durch Reibung kleine Wellen, welche die Oberfläche des Wassers trauß machen. Treffen die Luftströmungen das Wasser unter einem spitzen Winkel, so kann man sich die Kraft derselben in eine vertikale und horizontale Componente, von denen jene als Druck oder Stoß, diese durch Reibung wirkt, zerlegt denken. Nach Franklin erregt die Luft durch Reiben die Wellen in der Art, daß sie an dem Wasser, über dem sie hinstreicht, haftet und die Theilchen, die sie an der Oberfläche berührt, mit fortschiebt. Da nun diese Theilchen mit den unter ihnen gelegenen Wassertheilchen zusammenhängen, so werden sie durch die letzteren etwas zurückgehalten, denen sie ihre Bewegung zum Theil abgeben, was die Folge hat, daß sie hinter der Luft etwas zurückbleiben. Hat nun der Druck der nachfolgenden Luft eine gewisse Größe erreicht, so reißt sich die Luft von den Wassertheilchen los, an denen sie haftete, und gleitet über das Wasser hin, bis die Spannung so vermindert ist, daß die Luft abermals, während sie sich jetzt langsamer bewegt, am Wasser zu haften anfängt und die erwähnte Erscheinung sich wiederholt. So wird die über das Wasser hinstreichende Luft dasselbe ruckweise stoßen und davon abgleiten, was eine große Menge kleiner Unebenheiten auf dem Wasser veranlaßt *). Diese kleinen (kräuselnden) Wellen bemerkt man auch auf der Oberfläche größerer Wellen.

Wir erinnern hier an eine bekannte Erfahrung, von der schon Aristoteles **) spricht, daß nämlich die Wogen (Wellen) zuweilen eher als der Wind an einem Orte ankommen. So erzählt Nicholson ***) nach einer Mittheilung aus Helston in Cornwall, es ereigne sich häufig an dortiger Küste, daß große Wellen von Westen herangerollt kommen, ohne die geringste Ursache des Wellenschlages zu bemerken; erst mehrere Stunden später erhebt sich ein heftiger Wind oder ein Sturm aus derselben Weltgegend. Auch Bremon tier berichtet, daß, wenn Luft und Meer so ruhig als möglich sind, es sich oft ereignet, daß man die Wellen allmählig anwachsen sieht, und daß sie bisweilen, ohne daß man in der Atmosphäre eine Veränderung wahrgenommen hat, endlich wie während eines Sturmes aufbrausen. Es ist nach demselben sogar nicht ohne Beispiel, daß diese Ruhe fort dauert, und daß sich die Wuth des Meeres von selbst wieder besänftigt; die Tiefe der Wellen nimmt dann ebenso langsam ab, als sie zugenommen hatte. Und dies soll sich ebenso sehr in der Mitte der größten Meere, wie an ihren Küsten ereignen. Doch ereignet sich dies in der That selten, und der Sturm, die erste Ursache dieser großen Bewegung, langt gewöhnlich dann an, wenn die Wellen ihre größte Höhe erreicht haben.

Diese Erscheinung erklärt sich daraus, daß der Wind, die Ursache der Wellenbewegung, keine Undulation der Luft, sondern eine Luftströmung ist, deren Theilchen ihren Ort wie die Theilchen des strömenden Wassers verändern, und durch den Widerstand, den sie von Seiten der vorliegenden ruhigen Luft erfahren, in ihrer Bewegung gehemmt werden, wenn die Kraft, die sie vorwärts drückt, aufhört. Insofern nun die Ursache, welche die Luftströmung bewirkt, anfänglich periodisch und absehend wirken kann, vermag sich auch die Wirkung der ersten

*) Wellenlehre 1c. S. 33.

**) Problem. XLl.

***) Journ. Vol. XIV. p. 188. Gilbert's Ann. Bd. XXXII. Wellenlehre 1c. S. 56 ff.

Lufstöße auf das Wasser bis zu einem entfernten Ufer fortzusetzen, ohne daß sich doch die Luftströmung selbst bis dahin fortpflanzt.

Ueber die Befähigung des durch den Wind erregten Wellenschlages durch die Ausbreitung von Del auf der Oberfläche des Wassers vergl. Art. Meer, Bd. IV. S. 1011 *).

Die Brüder Weber führen vier Ursachen an, von denen die Vergrößerung der Meereswellen abhängt, nämlich 1) die fortgesetzte Wirkung des Windes auf diejenigen Wellenstücke, welche in der Richtung des Windes fortgehen, 2) die Vereinigung mehrerer nach einer gemeinschaftlichen Richtung fortschreitender, kleinerer Wellenstücke zu einer größeren Welle, 3) der Druck, durch welchen jede vorausgehende Welle die ihr zunächst nachfolgende unterstützt und vergrößert, oder auch neue Wellen nach sich erregt, 4) die Durchkreuzung von Wellen, die in entgegengesetzten Richtungen fortgehen.

Beiläufig erwähnen wir hier der zuerst von S. Russel genauer beobachteten sogenannten Transmissionswellen, die z. B. entstehen, wenn man an dem einen Ende eines mit Wasser gefüllten Kanals den Querschnitt der Flüssigkeit auf die eine oder andere Weise, z. B. durch Hineingießen von Wasser, durch Fortschleiben der Flüssigkeit von dem betreffenden Ende her, oder durch Oeffnen einer Schleufe vergrößert. Es entsteht dann ein fortschreitender Wasserberg, während die einzelnen Wassertheilchen nur sehr wenig in der Richtung des Fortschreitens verschoben werden. Der Berg überträgt aber seine lebendige Kraft auf große Entfernungen. Die Curven, welche die Wassertheilchen beschreiben, erscheinen als offene Bogen, und in größeren Tiefen beschreiben die Theilchen gerade Linien. Entsteht hinter dem Berg ein Thal, so bewegt sich dieses nicht mit derselben Geschwindigkeit wie jener fort, so daß sich beide bald von einander trennen. Die durch Sonne und Mond bewirkte Fluth läßt sich als eine solche Transmissionswelle betrachten. Ist der erwähnte Kanal an beiden Enden geschlossen, so kehrt der Berg in derselben Weise, wie er vorging, zurück. Bezeichnet man die Geschwindigkeit, womit sich eine Transmissionswelle fortpflanzt, durch c , die Höhe des Berges durch h , die Tiefe des Wassers durch a , und die Beschleunigung der Schwere durch g , so hat man in Rücksicht eines gleichförmigen Kanals $c = \sqrt{g(a + h)}$. —

Man weiß, daß verschiedene Wellensysteme, die auf der Oberfläche eines Wassers erregt sind, sich in den verschiedensten Richtungen durchkreuzen können, und nach dem Durchkreuzen sich doch so verbreiten, wie es fast jede für sich, unabhängig von der anderen, thun würde. Man kann dies gewahren, wenn man auf eine ruhige Wasserfläche zwei Steine in einer gewissen Entfernung von einander fallen läßt, wodurch zwei Systeme von kreisförmigen Wellen erregt werden, die sich durchkreuzen. Die Brüder Weber erregten an jedem Ende ihrer Wellenrinne gleichzeitig eine gleich große Welle. Beide Wellen begegneten sich dann in der Mitte der Rinne und durchkreuzten sich in allen ihren Theilen. Durch die Glaswände konnte man aber die Aenderung der Gestalt und der inneren Bewegung wahrnehmen; und der in Folge der Durchkreuzung entstandene Wellenberg (oder auch das Wellenthal) ließ sich auf einer bestäubten Schiefertafel abbilden. Die Resultate waren folgende.

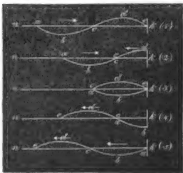
*) S. auch Wellenlehre u. S. 60 ff.

Aus dem Zusammentreffen zweier Wellenberge, die in entgegengesetzter Richtung fortschreiten, entsteht ein einziger, dessen Höhe fast der Summe beider gleich ist. Dieser große steile Berg, welchen die beiden sich begegnenden Wellen bilden, theilt sich augenblicklich wieder in zwei Wellenberge, die nach den beiden Enden der Wellenrinne fortschreiten, indem sie sich immer mehr von einander entfernen; und diese Theilung geschieht dadurch, daß der große Wellenberg von dem obersten Punkte seines Gipfels an successiv niedersinkt, auf jeder Seite seinen Fuß zum Steigen bringt. Während der Gipfel im Niedersinken beschleunigt wird, erreicht er eine Geschwindigkeit, die ihn nicht bloß bis zum Niveau, sondern bis tief unter das Niveau hinuntertreibt. Man bemerkt wenigstens, daß sogleich an der Stelle, an welcher der große steile Berg war, ein Thal entsteht, das sich auch in zwei Thäler theilt, die den zwei Bergen nach den beiden entgegengesetzten Richtungen nachlaufen.

Wie zwei Wellenberge sich beim Durchkreuzen zu einem einzigen Berge vereinigen, so bilden auch zwei sich durchkreuzende Wellenthäler ein einziges, dessen Tiefe fast der Summe der Tiefen beider gleich ist.

Trifft aber das Thal einer Welle mit dem Berg einer anderen zusammen, so heben sich beide an der Durchkreuzungsstelle auf, so daß die Oberfläche der Wellen hier mit dem gewöhnlichen Niveau zusammenfällt.

Während der Durchkreuzung wird die Bewegung der einzelnen Flüssigkeitstheilchen abgeändert, indem die elliptische Bahn in eine geradlinige, vertikale übergeht; und zwar geht bei der Durchkreuzung zweier Wellenberge die Bewegung vertical aufwärts, bei der zweier Wellenthäler vertical abwärts. Die verticale Richtung ist hier die einzige, nach welcher ein Ausweichen der Flüssigkeitstheilchen stattfinden kann. Die Durchkreuzung scheint eine kleine Verzögerung in dem Fortschreiten der Wellen herbeizuführen, doch bewegen sich die Wellen nachher mit ihrer früheren Geschwindigkeit fort, so als ob sie sich nicht durchkreuzt hätten. Ueberhaupt sind die Wellenberge und Wellenthäler nach dem Auseinanderfließen der Wellen in der Lage zu einander, als ob die Wellen durch einander gegangen wären, ohne sich zu stören und ohne die vorige Richtung abzuändern.



Breite (Länge) beträgt, fortschreitet. Im zweiten Zeitabschnitt ist der Wellenberg cde an die zurückwerfende Ebene angeprallt. Durch das Zusammenfallen der

Werden Wellen an festen Wänden zurückgeworfen, so erfahren die beiden Theile einer Welle, der Wellenberg und das Wellenthal, in ihrer Lage eine Umkehrung, während sonst die Reflexion im Wesentlichen nach den Gesetzen des Stoßes elastischer Körper geschieht. Stösse eine Welle $abcde$ mit vorangehendem Wellenberg gegen eine feste Wand k . Die nebenstehende Figur zeigt die Gestaltsveränderung des Berges und Thales während fünf gleicher Zeiträume, von denen jeder so groß ist, daß darin der Wellenberg (oder das Wellenthal) um so viel als seine halbe

vorderen und hinteren Hälfte des Wellenberges ist dieser halb so breit, aber noch einmal so hoch geworden, während das Wellenthal um seine halbe Breite, ohne Gestaltsveränderung, fortgeschritten ist (2). Im dritten Zeittheil rückt der Wellenberg abermals um seine halbe Breite in der umgekehrten Richtung fort, so daß er die Höhe und Breite, die er im ersten Zeitabschnitte hatte, wieder erhält. Inzwischen ist auch das Wellenthal bis zur Wand fortgeschritten.

Da nun hier Wellenberg und Wellenthal, indem sie in umgekehrter Richtung fortschreiten, an einem Orte zusammenfallen, also sich gegenseitig (durch Interferenz) momentan aufheben, so wird die Oberfläche der Flüssigkeit für einen Augenblick eben, indem der Wellenberg das Wellenthal ausfüllt (3). Im vierten Zeittheil haben sich Wellenberg und Wellenthal wieder von einander getrennt; der Wellenberg cde ist nach n hin, das Wellenthal nach k zu fortgeschritten. Zugleich ist das Wellenthal an k angeprallt und die vordere Hälfte mit der hinteren zusammengefallen, so daß dasselbe halb so breit und noch einmal so tief geworden ist (4). Im fünften Zeittheil hat das Thal seine anfängliche Gestalt wieder erhalten; es folgt dem Berge in der Richtung nach n , und die Zurückwerfung (Reflexion) der Welle ist vollendet (5).

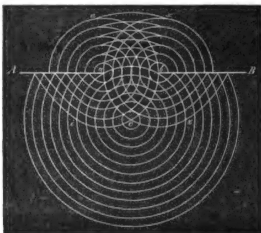
Die Brüder Weber fanden den eben dargestellten Vorgang durch die Anschauung und durch besondere für diesen Zweck angestellte Versuche bestätigt. Auch ist der Hergang der Reflexion im Wesentlichen derselbe, wenn das Wellenthal voranschreitet; und man braucht die gegebenen Figuren der Erläuterung wegen nur verkehrt anzusehen. Die Bahnen der einzelnen Theilchen erleiden übrigens bei der Reflexion einer Welle dieselbe Abänderung wie bei der Durchkreuzung zweier Wellen, insofern ihre vertikale Bewegung verstärkt, ihre horizontale aber gleichzeitig geschwächt wird, so daß die elliptischen Bahnen in geradlinige vertikale oder geneigte übergehen.

Auch bei den Wellen gilt das Gesetz, daß der Winkel, unter welchem irgend ein Theil derselben an eine widerstehende Ebene anprallt, gleich ist dem Winkel, unter welchem derselbe Theil zurückprallt.

Erregt man in einem genau elliptischen, mit Quecksilber gefüllten Gefäße in dem einen Brennpunkte eine kreisförmige Welle, so wird diese von der elliptischen Wand reflectirt werden und in dem anderen Brennpunkte zusammenkommen, wo sie einen Kegel bildet, der wieder eine kreisförmige Welle veranlaßt, die wieder von der elliptischen Wand zurückgeworfen wird und in dem ersten Brennpunkte einen Flüssigkeitskegel bildet. So legt dieselbe Welle den bezeichneten Weg auf dieselbe Weise öfter zurück. Und wenn man unausgesetzt in gleichen Zeitabschnitten in dem einen Brennpunkte gleich große Wellen erregt, so erscheint allmählig die ganze elliptische Oberfläche der Flüssigkeit mit Wellen bedeckt, die sämmtlich gleich weit von einander abstehen. Aus der Durchkreuzung dieser Wellen entstehen elliptische und hyperbolische Interferenzlinien (vergl. hierzu Art. Interferenz, Bd. III. S. 97, Fig. S. 99). Zu der eben bezeichneten Wellenerregung kann man einen an seiner Spitze durchstochenen Papiertrichter benutzen, den man mit Quecksilber füllt, so daß das letztere durch die Oeffnung regelmäßig tropfenweise in den einen Brennpunkt des mit Quecksilber gefüllten elliptischen Gefäßes fällt.

Ist AB eine senkrechte Wand mit einer Oeffnung $a b$ (s. umstehende Figur), und c der Mittelpunkt einer kreisförmigen Welle, welche sich allmählig ausbreitet,

so wird die vergrößerte Welle endlich an die Ränder *a* und *b* der senkrechten Wand anstoßen und hier in der Gestalt der daselbst befindlichen kleinen Kreise zurückgeworfen werden, während das Wellenstück *a b* ungehindert durch die Oeffnung



hindurchgeht. Indem so durch die Reflexion an den Punkten *a* und *b* neue Wellen entstehen, die sich den ungehindert fortschreitenden Theilen der ursprünglichen Welle anschließen, wird durch die Bogen *e i* und *x z* etc., deren Mittelpunkte *a* und *b* sind, eine Verbindung der Wellenstücke vor und hinter der Wand unterhalten. Dieser Vorgang ist bekannt unter dem Namen der *Inflexion* oder *Beugung* der Wellen. Die ursprünglichen, vorwärtsgelenden und die zurückgeworfenen Wellen durchschneiden sich regelmäßig, und die Durchschnitts- oder Interferenzpunkte bilden Linien, die als Hyperbeln erscheinen.

Die Brüder *Weber* gaben der Wand *A B* eine Dicke von einem halben Zoll und den Rändern der Oeffnung eine halbkreisförmige Gestalt. Die Wellen wurden in Quecksilber erzeugt.

Die beiden Enden des durch die Oeffnung gehenden Wellenstückes beugen sich also gegen die Wand in Kreisbogen um; die Wand, an welche sich das umgebogene Wellenstück anlegt, setzt aber der weiteren Umbeugung Grenzen. Die beiden *Weber* stellten sich nun die Frage, wie jene Umbeugung bei einer Welle geschehen würde, die wie die angeführte vorwärts schritte, und deren Enden nicht seitwärts oder hinterwärts, wie bei jener Welle, von einer Wand unterstützt, sondern frei wären. Wenn auch hier eine Umbeugung der Enden der Welle stattfände, so würde die Umbeugung immer fortgesetzt werden müssen, weil kein Gegenstand vorhanden wäre, der die fernere Umbeugung des Wellenstückes hindern könnte. Bei genauer Betrachtung fand sich, daß in diesem Falle ein Wirbel entstehen werde. — Taucht man ein Ruder *a b* senkrecht in ruhendes Wasser und bewegt es, nachdem sich die Flüssigkeit beruhigt hat, in einer auf seiner Fläche senkrechten Richtung vorwärts, so entsteht an jeder der beiden Seiten desselben ein

Wirbel, der aus einer großen Menge von Wellen besteht, die noch längere Zeit fortbauern, wenn auch das Ruder aus dem Wasser herausgezogen worden. Zu-



gleich gehen aus diesen Wirbeln immer neue Wellen hervor, die sich mehr und mehr ausbreiten. Die Wellen sind aber in den beiden Wirbeln in einer entgegengesetzten Richtung gewunden. Haben die Wirbel schon einige Zeit gedauert, so durchkreuzen sich die von den beiden Wirbeln weit genug fortge-

schrittenen Wellentheile *). Ähnliches geschieht, wenn ein strömendes Wasser sich an einem im Wasser feststehenden Körper bricht und um ihn herumfließt. Hier ruht der widerstehende Körper und das Wasser bewegt sich ihm entgegen, was eine gleiche Wirkung hervorbringt, wie bei dem Versuche mit dem Ruder, wo das Wasser ruhte und der widerstehende Körper sich ihm entgegen bewegte. Auf ganz ähnliche Weise bilden sich auch die kleinen Wirbel, die man so häufig in Klüffen forttreiben sieht, und die Wirbel, die man an Brückenpfeilern auf beiden Seiten, wo sich das Wasser herumwendet, wahrnimmt.

In tropfbaren Flüssigkeiten können sich nicht allein fortschreitende, sondern auch stehende Schwingungen bilden. Bei diesen findet nicht, wie bei jenen, ein Fortschreiten der Wellenform statt, sondern die Wellenberge verwandeln sich durch vertikales Niedersinken an demselben Orte abwechselnd in Thäler, und die Thäler durch vertikales Steigen in Berge, wobei immer ein Wellenberg zwischen zwei Wellenthälern und ein Wellenthal zwischen zwei Wellenbergen liegt. Die Oberfläche der Flüssigkeit ist dann in regelmäßige Abtheilungen getheilt, von denen die benachbarten immer in entgegengesetzter Richtung isochronisch schwingen.

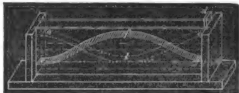
Solche stehende Schwingungen können resultiren aus der Durchkreuzung zweier gleicher Wellensysteme, deren Mittelpunkte um eine ungerade Anzahl halber Wellenbreiten (Wellenlängen) von einander entfernt sind, indem der zwischen beiden Punkten liegende Raum in Abschnitte von einer halben Wellenbreite getheilt wird. Diese Abschnitte sind dann durch ruhende Interferenzlinien von einander getrennt und schwingen auf die bezeichnete Weise auf und nieder.

Die beiden Weber erregten solche stehende Schwingungen auf folgende Weise. Am Ende eines langen und schmalen mit Wasser gefüllten Kastens, der mit Glaswänden versehen war, wurde ein Bretchen d (s. umstehende Fig. 1.) mit dem unteren Rande senkrecht auf den Boden, und mit den Seitenrändern auch senkrecht auf die Seitenwände eingesetzt, dergestalt, daß das Bretchen in der Richtung der Länge des Gefäßes um seinen unteren Rand beweglich blieb. Bewegte man dann das Bretchen in einem richtigen Takte, indem man das obere Ende d dem Ende c des Kastens nähert, so daß sich das Bretchen in dieser Richtung um seinen auf dem Boden aufstehenden Rand drehet, so erregte man dadurch Wellen, deren Breite man beliebig vermindern oder vergrößern konnte. Und so war es auch möglich, Wellen zu erregen, deren halbe Breite ein bestimmter aliquoter Theil von der Länge der Wellenrinne war. Erregt man z. B. nach einander

*) S. die weitere Auseinandersetzung dieses Gegenstandes in Weber's Wellenlehre S. 232 ff.

Wellen, deren Breite gleich dem halben Theil von der Länge der Wellenrinne ist, so entsteht aus der Durchkreuzung dieser Wellen die stehende Welle abc , indem

I.



sich das Wasser in dem Kasten abwechselnd in die Lage abc und esc setzt: eine Bewegung, die von selbst längere Zeit andauert, wenn auch das Bretchen sich nicht mehr bewegt.

Die Umbildung der fortschreitenden Schwingung in eine stehende kann man auf folgende Weise verdeutlichen *). Die Zeit, welche nöthig ist, um eine ganze Welle zu erregen, denke man sich in vier kleinere Zeiträume getheilt, und im ersten Zeitraume werde der halbe Wellenberg ab (s. neben-

II.



stehende Fig. II.) hervorgebracht. Dieser schreitet im zweiten Zeittheil bis c fort, während die fortgesetzte Wirkung jenes Bretchens die zweite Hälfte des Wellenberges erregt. Nun ist der ganze Wellenberg abc entstanden, der im dritten Zeittheil bis nach d fortschreitet (3), während hinter ihm die eine Hälfte des Wellenthales bei ab hervorgebracht wird. Im vierten Zeittheil (4) rückt der Wellenberg bis e fort, so daß er den Raum cde einnimmt, während die Hälfte ab des Wellenthales bis c geht, und die zweite Hälfte desselben durch neue Erregung mittelst des Bretchens entstanden ist. Jetzt ist eine Welle, die aus dem Wellenberge cde und aus dem Wellenthale abc besteht, vorhanden. Im fünften Zeittheil (5) erfährt der Wellenberg eine Reflexion an der Wand A ; er erhebt sich bis fast zur doppelten Höhe, während das zugehörige Wellenthal nach bcd vorrückt, und hinter ihm bei ab die Hälfte eines neuen Wellenberges erregt wird. Nun ist im sechsten Zeittheil (6) der Wellenberg ed um die Hälfte niedriger geworden und bis nach c in umgekehrter Richtung fortgeschritten, so daß er den Wellenberg edc bildet; da aber gleichzeitig das zu ihm gehörige Wellenthal dcb nach ede vorrückt, so fallen der Wellenberg edc und das Wellenthal an demselben Orte zusammen; sie heben sich beide momentan durch Interferenz auf, und es entsteht in ede eine Ebene. Zugleich rückt der halbe Wellenberg ab nach bcd fort und in ab wird die zweite Hälfte desselben durch neue Erregun

*) Wellenlehre S. 262.

gebildet, so daß nun der ganze Wellenberg abc vorhanden ist. Indem sich aber das Thal ede durch die beschleunigte Bewegung, in der sich das Wasser in ed nach abwärts befindet, wieder herstellt, erlangt es, weil es an A anprallt, und seine beiden Hälften zusammenfallen, eine fast doppelte Tiefe bei halber Breite (7). Zugleich rückt der Wellenberg ede in Folge der beschleunigten Bewegung, in der sich das Wasser in eb befindet, nach deb vor, und fällt daselbst mit dem von abc nach bcd vorrückenden Wellenberge zusammen, wodurch es fast die doppelte Höhe erlangt. Gleichzeitig bildet sich in ab durch neue Erregung die Hälfte eines neuen Wellenthales. Im achten Zeittheil (8) schreitet nun der von ede nach deb gekommene Wellenberg weiter fort nach eba , der von eba nach deb gekommene Wellenberg nach ede , und es trennt sich der vereinigte hohe Wellenberg deb in die beiden nach entgegengesetzten Richtungen fortschreitenden Wellenberge eba und ede . Da nun aber gleichzeitig das von A zurückgeworfene Thal ed sich bis ede ausbreitet, so fällt es mit dem Berge ede zusammen und beide heben sich momentan auf. Weil auch das halbe Thal ba nach eb vorrückt, und sich in ba durch neue Erregung die andere Hälfte dieses Thales bildet, so fällt auch zugleich das Thal eba mit dem Wellenberge eba zusammen, und beide heben sich für einen Augenblick auf. Daher ist am Ende des achten Zeittheiles die Oberfläche der Flüssigkeit für einen Augenblick ganz eben. Nun stellen sich im neunten Zeittheil (9) die Wellen durch die beschleunigte Bewegung, in der sich das Wasser bei ab und ed nach aufwärts, bei deb nach abwärts befindet, wieder her. Die beiden Thäler eba und ede vereinigen sich in deb in ein einziges fast noch einmal so tiefes Thal als jedes der beiden Thäler einzeln war. Der Wellenberg ede prallt an A , der Wellenberg eba prallt an B ab; beide werden während des Anprallens noch einmal so schmal, zugleich aber fast noch einmal so hoch. Jetzt hat die schwingende Bewegung eine solche Gestalt erhalten, bei der die Schwingung von selbst, ohne neue Anregung, längere Zeit hindurch fortdauert. Alle benachbarten Abschnitte schwingen nach entgegengesetzten Richtungen und halten sich das Gleichgewicht. Im zehnten Zeitraume (10) gehen die beiden Wellenthäler, die in deb vereinigt waren, durch einander hindurch, das eine nach ede , das andere nach eba . Weil sich aber gleichzeitig der bei B abgeprallte Wellenberg ba nach eba ausbreitet, so fällt er daselbst mit dem Wellenthale eba zusammen; beide heben sich momentan auf. Und ebenso ist es mit dem von A abgeprallten Wellenberge ed , der sich nach ede ausbreitet, und daselbst mit dem Wellenthale ede zusammenfällt. Daber wird am Ende des zehnten Zeittheils die ganze Flüssigkeit für einen Augenblick wieder eben sein. Im elften Zeittheil (11) vereinigen sich die beiden Wellenberge eba und ede in deb zu einem Wellenberge von fast doppelter Höhe. Das Wellenthal ede prallt in A an, und wird hierbei noch einmal so tief und halb so breit, das Wellenthal eba prallt in B an, und wird gleichfalls noch einmal so tief und halb so breit. Von jetzt an wiederholen sich nur die letzteren drei Lagen, so daß im zwölften Zeittheil die zehnte Lage, im dreizehnten Zeittheil die neunte Lage, im vierzehnten Zeittheil die zehnte Lage, im fünfzehnten die elfte Lage zurückkehrt u. s. f. Bei dieser stehenden Schwingung ist jeder Berg eine Vereinigung von zwei nach entgegengesetzten Richtungen fortschreitenden Wellenbergen; ein solcher Berg hat daher kein Vordertheil, das im Steigen, kein Hintertheil, das im Sinken begriffen wäre, wie bei einer fortschreitenden Welle, sondern beide Abhänge eines solchen vereinigten Berges sind

im Sinken begriffen. Dasselbe ist der Fall bei den Thälern, insofern beide Abhänge eines solchen Thales im Steigen begriffen sind.

Auf dieselbe Weise erklärt sich die stehende Schwingung von der Gestalt beistehender Figur, welche entsteht, wenn man Wellen erregt, deren Breite $\frac{1}{4}$ der Länge des Gefäßes beträgt, und so auch weiter diejenigen stehenden Schwingungen, welche entstehen, wenn Wellen erregt werden, deren Breite resp. $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{8}$ u. der Länge des Gefäßes beträgt. —



Auch läßt sich darthun, daß stehende Schwingungen entstehen, wenn sich die Wellen in mehr als zwei Richtungen regelmäßig durchkreuzen *). Ueberhaupt ist die stehende Schwingung nur eine ununterbrochen sich wiederholende regelmäßige Durchkreuzung von Wellen. Wie bei der Durchkreuzung bewegen sich auch hier die Flüssigkeitstheilchen nicht in Curven, die in sich selbst zurücklaufen, sondern sie gehen durch dieselben Punkte derselben Bahn wieder rückwärts, durch die sie vorwärts gegangen waren. So bewegt sich ein Flüssigkeitstheilchen, welches auf der Mitte des Gipfels eines kegelförmigen Wellenberges sich befindet, in einer geraden senkrechten Bahn nach abwärts bis zum tiefsten Punkte des trichterförmigen Thales, und hierauf durch dieselben Punkte seiner Bahn wieder nach aufwärts.

Wird ein Gefäß mit Flüssigkeit bewegt und erschüttert, so kann gleichfalls eine, wenn auch etwas unregelmäßige, stehende Schwingung entstehen, und in Folge der hierbei sich bildenden kegelförmigen Erhebungen der Flüssigkeiten wird die letztere oft hoch in die Höhe gespritzt, was man beim Tragen von Wasser in Eimern oder beim Transport von Sturmfässern durch Holzstücke zu verhindern sucht, die man in die Gefäße wirft. Indem diese schwimmenden Körper die Wellen unregelmäßig machen, verhindern sie die Bildung der stehenden Schwingung.

Gewissen Beobachtungen zufolge kann die stehende Schwingung in mehr oder minder vollkommenem Grade auch auf dem Meere entstehen, wenn zwei oder mehreren Winde von entgegengesetzten Seiten her Wellen erregen **).

Rücksichtlich einer Vergleichung der durch die Erfahrung gefundenen Wellenerscheinungen mit den mathematischen Wellentheorien von Newton (Gravesande, d'Alembert), La Place, La Grange, Flaugergues, Gerstner, Brander, Bremon tier, Poisson und Cauchy s. Weber's Wellenlehre S. 303 ff.

Bei der bisher betrachteten Wellenbewegung tropfbarer Flüssigkeiten ist es die Schwere, vermöge deren die Flüssigkeitstheilchen das gestörte Gleichgewicht wieder herzustellen suchen. Aber auch abgesehen von der Schwere kann in irgend einem elastischen Körper, dessen moleculares Gleichgewicht an irgend einer Stelle gestört ist, eine Wellenbewegung entstehen, indem die durch die störende Ursache aus ihrer Gleichgewichtslage gebrachten Theilchen auch die benachbarten Theilchen verschieben und in jene Lage zurückzukehren suchen.

Ertheilt man einem Körper an irgend einer Stelle einen Stoß, so pflanzt sich dieser mit sehr großer Geschwindigkeit durch den Körper fort; auch hier findet

*) Vergl. Wellenlehre S. 267.

**) Wellenlehre S. 278.

eine schwingende Bewegung statt, die sich von Theilchen zu Theilchen fortpflanzt. Es beruht hierauf die Fortpflanzung des Schalles in allen Körpern, indem eine Verdichtung oder Verdünnung von Theilchen zu Theilchen fortschreitet. Die Richtung, in welcher sich der Stoß fortpflanzt, ist aber unabhängig von der Richtung, in der sich die durch den Stoß in Bewegung gesetzten Theilchen bewegen. Die Brüder Weber nennen diese Wellen, welche mit dem fortgepflanzten Stoße ein und dasselbe sind, *primäre Wellen*, zur Unterscheidung von einer anderen Art Wellen, bei deren Fortpflanzung eine bloße Verschiebung der Theilchen stattfindet, ohne daß damit nothwendig eine Verdichtung oder Verdünnung verbunden zu sein braucht. Ihr Fortschreiten geschieht viel langsamer als bei den primären (Stoß-) Wellen. Denkt man sich einen unausdehnbaren, vollkommen biegsamen Faden, der an seinem Ende über eine Rolle gespannt und irgendwo auf seiner Länge gestoßen wird, so bringt die Fortpflanzung des ersten Stoßes eine Ausbeugung hervor. Das Fortschreiten dieser Ausbeugung ist aber nicht mehr bedingt durch die Fortpflanzung des ersten Stoßes, sondern durch das Bestreben der Theilchen des Fadens in die geradlinige Lage zurückzukehren; hierdurch werden die benachbarten Theilchen, welche sich noch in der ursprünglichen Lage befinden, genöthigt, aus derselben zu weichen, worauf auch diese durch ihr Bestreben in ihre ursprüngliche Lage zurückzukehren, ebenfalls die benachbarten Theilchen aus ihrer Lage verschieben u. s. f. Weil nun diese Wellen nur eine dem fortgepflanzten ersten Stoße nachfolgende Wirkung sind, nennen die Brüder Weber sie *secundäre Wellen*, die zwar ohne eine Verdichtung oder Verdünnung der Theilchen stattfinden können, aber doch häufig davon begleitet sind, wie dies bei fest aufgespannten Saiten vorkommt.

Ein Beispiel zu solchen secundären Wellen ist bereits S. 874 ff. gegeben, wo wir uns ein langes aufgespanntes Seil dachten, das durch einen Stoß eine Ausbeugung erhielt. Werden mehrere Wellen von der Gestalt der Figur S. 874 erregt, so findet sich, daß große und kleine Wellen gleiche Geschwindigkeit haben; und daher nie eine vorlaufende von einer nachfolgenden eingeholt werden kann, wie dies bei den Wasserwellen möglich ist. Begegnen sich zwei Seilwellen, so gehen sie ohne den geringsten bemerkbaren Zeitverlust durch einander hindurch, während bei der Durchkreuzung von Wasserwellen ein kleiner, merklicher Zeitverlust stattfindet. Auch die Wasserwellen gehen in den meisten Fällen durch einander hindurch, ohne dabei ihre Gestalt merklich zu verändern; allein dies geschieht nicht in dem Falle, wenn eine kleinere Welle von einer größeren, die von demselben Punkte ausgegangen, aber etwas später entstanden ist, eingeholt wird; die kleinere bleibt dann nicht hinter der größeren zurück, sondern vereinigt sich mit ihr*). Dies kann bei den Wellen eines Seiles nicht stattfinden, weil große und kleine Wellen stets gleiche Geschwindigkeit haben. Uebrigens läßt sich das, was von dem Fortschreiten der Wasserwellen gilt, auf das Fortschreiten der Welle eines Seiles übertragen. Auch bei den Seilwellen kann es Wellenberge und Wellenthäler geben; und wie bei den Wasserwellen, so besteht auch bei den Seilwellen ein Wellenberg aus einer vorderen Hälfte, deren Theilchen im Steigen, und aus einer hinteren Hälfte, deren Theilchen im Sinken begriffen sind, und ebenso auch ein Wellenthäl aus einer vorderen Hälfte, deren Theilchen im Sinken, und einer

*) Wellenlehre S. 446.

hinteren Hälfte, deren Theilchen im Steigen begriffen sind; und endlich nimmt auch ein Theilchen des Seiles, während die Welle an seinem Orte vorübergeht, successiv alle Lagen in der Wellenform ein. Allein die Bahn, in welcher jedes Theilchen schwingt, während die Welle durch seinen Ort hindurchgeht, unterscheidet sich wesentlich von der, in welcher sich die Wassertheilchen bei dem Wellenschlage bewegen. Die Brüder Weber veranschaulichten sich diese Bahn, indem sie überlegten, welchen Weg ein Theilchen eines unauflösbaren, über eine Rolle durch Gewichte gespannten Fadens zurücklegen müsse, während eine Ausbeugung oder eine Welle an seinem Orte vorübergeht; es ergab sich, daß das Theilchen zugleich eine senkrechte und horizontale Bewegung hat, woraus sich denn auch auf die Bahn desselben schließen läßt, die es annimmt, wenn ein Wellenberg oder ein Wellenthäl an ihm vorübergeht.

Euler *) hat die transversalen Wellen eines Seiles oder einer Saite einer Berechnung unterworfen, und die beiden Weber haben auf Grund dieser Rechnung die veränderte Lage der Saite für jeden Moment geometrisch dargestellt **). Es fand sich, daß diese geometrischen Constructionen genau mit der Erfahrung übereinstimmten.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit c einer transversalen Welle oder der Weg, den die Welle an einer Schnur (Saite) in einer Secunde durchläuft, ist nach der Euler'schen Rechnung $c = \sqrt{\frac{2gP}{p}}$, wo $2g$ gleich dem doppelten Fallraume eines Körpers in 1 Secunde ($= 30$ Fuß $= 4320$ Linien), l die Länge der Schnur, p ihr Gewicht und P das die Schnur spannende Gewicht ist. Die nach dieser Formel berechnete Geschwindigkeit stimmte mit der durch Versuche ermittelten hinreichend genau überein. Die Versuche wurden mit einer 51 Fuß 2 Zoll langen Schnur angestellt, der man in einem bestimmten Moment in einer gewissen Entfernung von dem einen Befestigungspunkte einen Stoß ertheilte, um eine Ausbeugung oder eine Welle zu erregen. In demselben Moment ließ man auch eine Pendeluhr los, und hielt sie in dem Augenblicke an, wo die Welle 1 bis 4 Mal die Schnur durchlaufen hatte.

Sodann maß man auch die Zeit, in welcher die Schnur, in der Mitte stark gestoßen, sich 4 Mal von der Lage der Ruhe aus aufwärts schwang, und in diese Lage zurückkehrte. Aus dieser Zeit für 4 Schwingungen der aufgespannten Schnur ergab sich denn auch leicht die Zeit, in welcher die Schnur eine Schwingung vollbrachte, nämlich eine Schwingung in der Weise, wie es die Fig. S. 876 darstellt. Das Resultat stimmte mit dem zuerst von Chladni ausgesprochenen Satz überein, daß eine Schwingung genau so lange dauert, als die Zeit, in der eine Welle die Länge der Schnur einmal durchläuft.

Denkt man sich eine Reihe von materiellen Theilchen, die wie die Theilchen eines gespannten Seiles oder einer Saite in einem festen Zusammenhange mit einander stehen, und durch welche sich eine Wellenbewegung fortpflanzt, so kann man nach dem Vorstehenden sagen, daß sich die schwingende Bewegung während der Zeit, in welcher ein Theilchen eine Schwingung vollendet, durch eine Strecke fortpflanzt, die der Länge einer Welle gleich ist.

*) Acta Petropolitana, pro anno 1779. Petropoli 1783.

**) Wellenlehre S. 448 ff.

Die stehenden Transversal-Schwingungen gespannter Saiten sind bereits S. 876 charakterisirt, sie können in ähnlicher Weise wie beim Wasser (S. 894 Fig. II.) aus dem Zusammentreffen der fortschreitenden Schwingungen entstehen, wenn in regelmäßigen Zeitabschnitten Wellen, deren Länge ein aliquoter Theil der Länge der Saite ist, erregt und von dem befestigten Ende der Saite zurückgeworfen werden. — Die Schwingungsknoten tönender Saiten kann man mittelst eines Monochords zur Darstellung bringen (s. Art. Monochord, Bd. IV. S. 1120, 1122). Da eine Saite als Ganzes und zugleich in bestimmten Unterabtheilungen schwingen kann, so erklären sich hieraus die höheren Töne, die sie neben ihrem Haupttone unter Umständen hören läßt.

Streicht man eine Saite unter einem sehr spigen Winkel mit einem Violinbogen oder reibt man sie der Länge nach mit einem nassen oder mit Colophonium bestreuten Lappen, so geräth sie in longitudinale Schwingungen. Berührt man sie leicht in der Mitte, so bildet sich hier ein Schwingungsknoten, und die Theile der Saite bewegen sich in Bezug auf diesen Punkt abwechselnd von- und gegen einander. Wird die Saite im dritten oder vierten Theil ihrer Länge sanft berührt, so bilden sich zwei oder drei Schwingungsknoten.

Nimmt man nun die Schwingungszahl der ganzen Saite zur Einheit an, so kann man die Schwingungszahlen der Töne bei 1, 2, 3 etc. Schwingungsknoten durch 2, 3, 4, ausdrücken. Für die Anzahl n der Schwingungen in 1 Secunde

hat man die Formel $n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{g}{\lambda}}$, wo l die Länge der Saite, g die Beschleunigung der Schwere und λ die Verlängerung bezeichnet, welche eine Saite von der

Längeneinheit erfährt, wenn sie durch ein ihrem eigenen gleiches Gewicht gespannt wird (s. Art. Schall, Bd. V. S. 706 ff.). Bei einer transversal schwingenden Saite

hat man für die Schwingungszahl (oder Tonhöhe) die Formel $n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{gP}{p}}$,

wo g und l dieselbe Bedeutung wie vorher haben, während P das die Saite spannende Gewicht und p das Gewicht der Saite selbst bezeichnet. Da nun bei einer cylindrischen Saite $p = \frac{1}{4} \pi d^2 l s$ ist, wenn man durch d den Durchmesser und durch s das specifische Gewicht des Materials der Saite ausdrückt, so folgt auch

$$n = \frac{1}{dl} \sqrt{\frac{gP}{\pi s}}$$

Die Vergleichung beider Formeln zeigt, daß sowohl bei transversal als auch bei longitudinal schwingenden Saiten die Schwingungszahl oder Tonhöhe im umgekehrten Verhältniß zur Länge der Saite steht, daß sie dagegen bei Längenschwingungen unabhängig ist von der Dicke und auch von der Spannung der Saite, aber nicht von dem Material der letzteren. Und die durch Längenschwingungen erzeugten Töne sind höher als die, welche dieselbe Saite bei Querschwingungen giebt.

Voisson hat zwischen den durch Längen- und Querschwingungen derselben Saite hervorgerufenen Tönen folgende Beziehung festgestellt, die sich auch aus den obigen Formeln ableiten läßt. Bezeichnen nämlich n und n' die Schwingungszahlen, welche den tiefsten Tönen dieser beiden Schwingungsarten zugehören, ist ferner l die Länge der Saite und a die durch das spannende Gewicht bewirkte

Verlängerung der Saite, so hat man $\frac{n}{n'} = \sqrt{\frac{l}{a}}$ oder $\frac{n^2}{n'^2} = \frac{l}{a}$, d. h. das

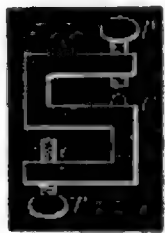
Quadrat der Anzahl der Longitudinalschwingungen einer Saite verhält sich zum Quadrate der Anzahl ihrer Transversalschwingungen in derselben Zeit, wie ihre Länge zu der Verlängerung, die sie durch die Spannung erleidet.

Inzwischen stimmt der Satz, daß die Tonhöhe bei Längenschwingungen von der Spannung der Saite unabhängig ist, nur bei sehr langen oder schwächer gespannten Saiten mit der Erfahrung überein.

Schon Chladni sprach in seiner Akustik den Satz aus, daß die longitudinal schwingenden Saiten unter anderen dadurch von den transversal schwingenden unterschieden seien, daß die Höhe des Tones weder von der Dicke noch von der Spannung merklich abhängig sei, sondern allein von der größeren Länge und der Materie der Saite tiefer gemacht werde. Die Brüder Weber *) stellten nun in Bezug hierauf einige Versuche an, aus denen hervorging, daß die Größe des spannenden Gewichtes allerdings eine geringe Erhöhung des Tones nach sich zieht.

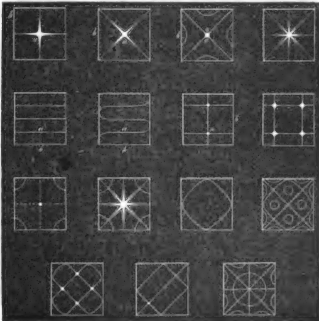
Körper, welche schon an und für sich einen hinreichenden Grad von Elasticität besitzen oder die, wie man auch zu sagen pflegt, durch innere Steifigkeit elastisch sind, können auf ähnliche Weise, wie Saiten, in stehende Schwingungen gerathen und sich dabei in mehrere schwingende Abtheilungen theilen, die durch Ruhelinien (Knotenlinien) von einander getrennt sind. Bei flächenförmigen Körpern (Platten oder Scheiben von Glas, Metall etc.) lassen sich die Knotenlinien nach der von Chladni angegebenen Methode zur Darstellung bringen, indem man die Oberfläche der Platte mit trockenem Sand bestreut und sie an dem Rande mit einem Violinbogen streicht. Ohne Zweifel entsteht auch hier zunächst eine fortschreitende Wellenbewegung, dann an den Grenzen des Körpers eine Reflexion derselben, und alsbald aus dem regelmäßigen Zusammentreffen directer und reflectirter Wellen eine stehende Schwingung, wobei gewisse Punkte, an denen sich die Bewegung aufhebt, Knotenlinien bilden, die auf der Oberfläche in der bezeichneten Weise zu Tage treten. Je zwei aneinander grenzende Abtheilungen schwingen nach entgegengesetzten Richtungen.

Um Platten oder Scheiben schwingen zu lassen, gebraucht man nicht selten einen Apparat, wie nebenstehende Figur zeigt. Die Schraube T dient, den Apparat selbst an einen Tisch oder irgend einen festen Körper zu befestigen, und die Schraube P dient, die Scheibe gegen einen kleinen vorspringenden Cylinder C zu pressen. Die Enden der Schraube und des Cylinders sind mit einem kegelförmigen Stück einer festen, aber nachgiebigen Substanz (Rüffelsell) bedeckt, oder wenigstens mit Sammt überzogen. Ist die Scheibe horizontal befestigt und ihre Oberfläche mit etwas trockenem und feinem Sand bestreut, so geräth der letztere bei dem ersten Tone, der erzeugt wird, indem man mit dem Bogen senkrecht gegen die Ebene der Scheibe streicht, in Bewegung. Derselbe springt während der Tonerzeugung mehrmal auf und fällt wieder zurück, und indem er stets von den schwingenden Theilen zurückgestoßen wird, häuft er sich auf den unbeweglichen Theilen an und bezeichnet auf diese Weise den Raum, den



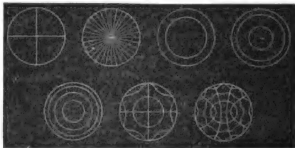
*) Wellenlehre S. 553.

diese auf der Scheibe einnehmen. Die Knotenlinien sind es, welche so alle Figuren, die der Sand auf den Scheiben darstellt, bilden. Man nennt diese Figuren (die Chladni'schen) Klangfiguren. Uebrigens kann man mit solchen Scheiben allenfalls auch ohne den bezeichneten Apparat experimentiren, indem man die Scheiben zwischen zwei Fingern der einen Hand horizontal hält und mit der anderen Hand den Bogen führt, wozu jedoch Uebung gehört. Die Gestalt der Klangfiguren ist bedingt durch den Ort, wo die Wellenbewegung erregt wird, durch die Länge der erregten Welle und auch durch die Gestalt der Platte (oder Scheibe). Eine und dieselbe Platte giebt verschiedene Figuren, wenn man sie mit dem Bogen stärker oder schwächer, schneller oder langsamer streicht, oder endlich den Ort des Streichens verändert. Je höher aber der Ton ist, desto größer ist die Anzahl der schwingenden Abtheilungen, und daher auch um so zusammengesetzter die Klangfigur. Doch können demselben Tone verschiedene Klangfiguren entsprechen; seine Höhe verändert sich nicht, falls die Schwingungsdauer der einzelnen Theile der Platte unverändert bleibt. Eine reine Klangfigur erfordert einen reinen Ton; wird der Ort, wo man die Platte hält etwas verrückt, so bleibt zwar der Ton im Wesentlichen unverändert, aber er wird unreiner und die Klangfigur verzerrt. Hat man Platten von demselben Material und ähnlicher Form der Oberfläche, die bloß hinsichtlich der Größe verschieden sind, so geben sie bei einerlei Tonfolge ähnliche Klangfiguren. Die zu ähnlichen Klangfiguren gehörigen Töne (oder Schwingungszahlen) solcher Platten verhalten sich aber wie die Dicken und



umgekehrt wie die Quadrate homologer Seiten der Platten. — Die vorstehenden Figuren zeigen eine Reihe von Klangfiguren, welche eine quadratische Platte auf die angezeigte Weise giebt. Die erste Figur z. B. resultirt, wenn man die Platte bei a befestigt und am Rande bei b mit dem Bogen streicht. Wird sie aber statt dessen in der Mitte b einer Saite gestrichen, so erhält man die zweite Figur. Bei kreisförmigen Platten unterscheidet man ein *diametrales*, *concentrisches* und *zusammengesetztes* System von Knotenlinien. In der am leichtesten herzustellenden Klangfigur zählt man zwei Durchmesser, also vier schwingende Abtheilungen, hiernach drei Durchmesser und sechs Theile u. Bei Metallscheiben von drei oder vier Centimeter Durchmesser kann man oft 36 oder 40 Theile zählen. Es ist übrigens leicht zu begreifen, warum bei dieser Art der Theilung die schwingenden Abtheilungen in gerader Anzahl vorhanden sein müssen. Zunächst ist ersichtlich (s. beistehende Fig. I.), daß alle diese Theile, insofern sie im Einklang

I.



schwingen oder, was dasselbe ist, in gleicher Zeit eine gleiche Anzahl von Schwingungen vollführen, in ihrer Ausdehnung gleich sein müssen. Da nun aber zwei an einander grenzende Theile entgegengesetzte Schwingungsbewegungen haben, so kann dies nur bei einer geraden Anzahl von Theilen (Abtheilungen) stattfinden. In dem concentrischen System sind alle Knotenlinien Umkreise, deren Mittelpunkt in der Mitte der Platte liegt. Der einfachste Fall ist der einer einzigen Knotenlinie, dann kann man deren zwei, drei, u. erhalten. Um diese Figuren leichter zu erhalten, nahm Savart wie Chladni Platten von größerem Durchmesser, durchbohrte sie in der Mitte bis zu einem Loche von 4 bis 5 Millimeter Durchmesser, und ließ in diesem Loche ein Bündel Roßhaare nach Art

II.



des Bogens durchgehen (s. nebenstehende Fig. II.), wo dann die Schwingung durch die Reibung der Haare an dem Rande des Loches bewirkt wurde. Die Platte wird in einigen Punkten der Knotenlinie, die man hervorbringen will, unterstützt. Bei dem zusammengesetzten System sind die Knotenlinien mehr oder weniger gekrümmte Durchmesser und mehr oder weniger veränderte Umkreise. Dieselben zu erlangen erfordert mehr oder weniger

durch Uebung zu erreichende Geschicklichkeit, man pflegt dabei mehrere Punkte, durch welche Knotenlinien gehen sollen, mit den Fingern zu drücken. Hierdurch

wird wahrscheinlich die Länge der erregten Wellen bestimmt, welche bei ihrer Durchkreuzung die stehenden Schwingungen hervorbringen.

Die Knotenlinien erscheinen bald gerade, bald gekrümmt. Kehren die Krümmungen nicht in sich zurück, so erstrecken sie sich bis zu den Rändern der Platte, so daß sie nie in der letzteren endigen. Nach Versuchen von *Strehlke* ist es wahrscheinlich, daß alle Knotenlinien gekrümmt und die scheinbar geraden Linien meist Zweige hyperbolischer Curven sind. Man erhält eine reine Hyperbel, wenn man eine quadratische Scheibe an drei Ecken mit den Fingern unterstützt und sie dann in der Mitte einer ihrer Seiten mit dem Bogen streicht. Die Knotenlinien durchschneiden sich in der Wirklichkeit nicht, sondern nur scheinbar, insofern der Sand in dem kleinsten Raume zwischen den Curven in Folge der hier geringeren Schwingungsintensität nicht hinreichend zerstreut wird.

Genaue Messungen bezüglich der Knotenlinien homogener elastischer Platten (Scheiben) wurden von *Strehlke* *) in neuerer Zeit mittelst einer mikroskopischen Vorrichtung angestellt. Es bedurfte hierzu möglichst klangvoller, mit größter Sorgfalt hergestellter Scheiben. Die Bestimmung der Curven geschah entweder durch rechtwinklige oder durch Polar-Coordinationen. Zur Bestimmung der Töne war ein vertikales Monochord oder eine Sirene erforderlich. — Die Glasscheiben müssen, bemerkt *Strehlke*, vor dem Gebrauche mit Alkohol gereinigt werden, um den Niederschlag der Wasserdämpfe zu entfernen, wobei aber doch wieder Vorsicht nöthig sei, weil man die Scheibe, sobald der Alkohol verdunstet ist, leicht elektrisch erregen kann, wodurch die Bildung regelmäßiger Figuren gehindert wird. Die schärfsten Knotenlinien erhält man nach demselben, wenn man die matten oder polirten Glasscheiben mit Gold- oder Silberblatt belegt, was am besten durch eine Lösung von Hauensblase in Alkohol geschieht. Vor dem Gebrauche wird diese Oberfläche mit Wiener Kalk, oder mit fein gepulvertem Muschelfalk gereinigt. — Versteht man die Scheiben in Schwingung, so ist auf die gleichförmige Führung des Violinbogens die größte Sorgfalt zu verwenden, weil auch davon die Schärfe der Knotenlinien abhängt. Man muß den Ton einige Zeit hindurch anhalten, darf ihn aber nicht die höchste Intensität erreichen lassen, da sonst sogleich eine unruhige Bewegung in den Sandkörnern der ganzen Linie beginnt, und die erste Lage sichtlich verändert wird. Wenn man eine dünne Wasserschicht über die schwingende Scheibe gießt, so zeigt sich bei der gleichmäßigen Bogensführung auf der flüssigen Oberfläche ein zartes Netz regelmäßiger Wellen, das sogleich in unregelmäßige Erhöhungen und Kräuselungen zerfällt, wenn die Stärke des Tones übermäßig gesteigert wird.

Zur Darstellung der concentrischen Knotenkreise ohne Durchmesser auf Kreisscheiben durch centrale Erregung der letzteren gebrauchte *Strehlke* einen besonders eingerichteten Violinbogen.

Die Scheiben schwingen natürlich am freisten, wenn man sie auf die Finger der (linken) Hand legt, ohne sie sonst mittelst irgend eines Apparates einzuklemmen. *Strehlke* überzeugte sich, daß beim festen Einspannen sich die Lage der Knotenlinien um die Einspannungsstelle erheblich ändern kann. Die beste Unterstützung der Scheiben würde man nach ihm durch einen besonderen Apparat

*) Pogg. Ann. Bd. XCV. S. 377.

mit verstellbaren Spitzen erhalten, die in eine horizontale Ebene gebracht werden können.

Der Meßapparat, den Strehlke bei der Messung der Klangfiguren benutzte, war nach seiner Angabe von dem Mechanikus Dertling in Berlin ausgeführt worden. Im Wesentlichen besteht dieser Apparat aus einem festliegenden getheilten prismatischen Messingstabe, worauf sich ein zweiter ebenfalls getheilter prismatischer Stab senkrecht gegen den ersten verschieben läßt. Auf dem zweiten bewegt sich ein mit rechtwinkligem Fadenkreuz versehenes Mikroskop *).

Eine vollständige Theorie der klingenden Kreisscheiben hat Kirchhoff **) gegeben. Alle Knotenlinien einer homogenen elastischen Kreisscheibe bestehen hiernach aus concentrischen Kreisen und Durchmessern, die mit einander gleiche Winkel bilden. Strehlke bemerkt, daß die aus dieser Theorie gefolgerten Radien und Knotenkreise mit seinen Messungen bis auf drei Decimalen des zur Einheit genommenen Radius der Scheibe übereinstimmen, und in einzelnen Fällen noch weiter. Bei den Schwingungen, wo mehrere Kreise gleichzeitig vorhanden sind, fand Strehlke, namentlich bei dem innersten Kreise eine elliptische Krümmung, als wäre die Scheibe für die höheren Schwingungen nicht mehr als homogen zu betrachten. Es scheint ihm nicht unmöglich, daß diese Ellipsen, die nach der Theorie Kreise sein sollen, sich nach längerem Gebrauche der Scheiben allmählig immer mehr der Kreisform nähern, wie bei der anfänglichen Starrheit mancher Scheiben die höheren Schwingungen gar nicht hervorgebracht werden können, die später, wenn die Scheiben durch längeren Gebrauch eingespielt sind, ohne Schwierigkeit gelingen.

In Rücksicht der homogenen Beschaffenheit zeigte sich ein großer Unterschied zwischen den Scheiben von regelmäßiger Form aus Glas oder Metall. Die Theorie der schwingenden homogenen Kreisscheiben bestimmt nichts über die Lage der Durchmesser überhaupt, sondern nur, daß sie mit einander gleiche Winkel bilden sollen. Die Lage eines ersten Durchmessers bleibt sonach willkürlich. Dies fand sich auch auf homogenen planparallelen Scheiben von Spiegelglas durch die Erfahrung bestätigt. Wenn irgend zwei diametrale Punkte der Peripherie der Scheibe von unten unterstützt werden, so ist sofort, sobald die Scheibe zu tönen anfängt, die Lage des ersten Durchmessers gegeben, mit dem die anderen Durchmesser gleiche Winkel bilden. Läßt man den Sand in der letzten Anordnung liegen, wählt zwei neue diametrale Unterstützungspunkte und außerdem immer noch einen dritten Unterstützungspunkt, der in einem anderen Durchmesser oder in einen Knotenkreis je nach der Schwingungsart fällt, so geht der Sand sichtbar, wenn die Scheibe in neue Schwingungen versetzt wird, bei unverändertem Tone in die Lage des neuen Durchmessers über, den er durch seine neue Ordnung dem Auge darstellt. Dieser willkürlichen Lage des ersten Durchmessers auf Kreisscheiben, die durch die Unterstützung eine bestimmte wird, entspricht auf quadratischen Scheiben die Drehung der Curven von derselben Art, welche bei unveränderter Tonhöhe, aber mit Aenderung der Intensität des Tones durch den Mittelpunkt der Scheibe gehen und durch zwei Punkte derselben von symmetrischer Lage gegen die die Mittelpunkte zweier parallelen Ränder der Scheibe verbindende Linie. Anders verhält es sich mit den

*) S. weiter a. a. D. S. 582.

**) Pogg. Ann. 1850. Nr. 10.

nicht homogenen Metallscheiben. Hier findet weder die Drehung der Curven auf quadratischen, noch die Drehung der Durchmesser auf Kreisscheiben statt, sondern die Lage der Elasticitätsaren bestimmt die Lage der Knotenlinien, die unverändert bleibt, wenn auch die Unterstützungspunkte sich ändern. Die Knotenkreise der metallenen Kreisscheiben trennen sich von ihren Durchmessern und bilden mit diesen Curven *).

Daß die Knotenlinien unter gewissen Bedingungen in ein Schwanzen, oder selbst in eine mehr oder minder bedeutende rotirende Bewegung gerathen können, wurde zunächst von Savart genauer untersucht. Zahl und Richtung der schwingenden Theile eines Körpers hängen ab von dem Orte der Erschütterung, selbst der Gestalt des Körpers, seiner Natur, seinen Dimensionen und von der Stellung der Theile des Umfangs, die man zunächst unbeweglich gemacht hat. In gewissen Fällen kann man keine dieser Bedingungen ändern, sagt Savart, ohne die Ordnung der schwingenden Theile zu stören, und in anderen im Gegentheil kann dieselbe Ordnung stattfinden, selbst wenn ein oder mehrere dieser Umstände geändert werden. Bei einer kreisförmigen Scheibe, deren Mittelpunkt unbeweglich ist, kann man jeden beliebigen Punkt ihres Umfangs erschüttern, ohne daß die Art der Theilung eine Veränderung erfährt; einzig die Stellung der schwingenden Partien wechselt, weil der Erschütterungspunkt immer der Mittelpunkt einer dieser Partien sein muß, so daß, wenn man den Bogen, während der Zeit eines einmaligen Auf- und Niederstreichens, mit einer gleichförmigen Bewegung um die ganze Scheibe herumführt und ihn mit sich selbst parallel hält, die schwingenden Theile zu gleicher Zeit ihre Stellung verändern und ihm folgen, woraus die Grundlage zu einer fortwährenden rotirenden Bewegung entsteht. Allein diese rotirende Bewegung des Systems der schwingenden Theile kann gleichfalls erfolgen, wenn auch der Ort der Erschütterung derselbe bleibt. Hat man z. B. eine kreisrunde in ihrem Mittelpunkte befestigte Scheibe, welche eine von den Theilungsarten zeigt, die nur aus diametralen Knotenlinien bestehen, so zeigt der Versuch, daß diese Linien unbeweglich bleiben, so lange der Bogen die Scheibe berührt; zieht man ihn nun plötzlich ab, so oscilliren die ruhenden Linien um die Stellung herum, die sie vorher einnahmen, und kehren nicht eher dahin zurück, als bis die schwingende Bewegung auf dem Punkte ist, aufzuhören. Sobald die Zahl dieser Schwankungen in einer kurzen Zeit sehr groß ist, so wird der Sand ein unzureichendes Mittel, um die Verschiedenheit der Stellung der Knotenlinien gehörig auszumitteln, weil er mit zu großer Gewalt hinweggetrieben wird, um sichere Angaben zu liefern; doch kann man an seiner Statt einen feinen Staub (*Eycopodium*) nehmen, der im Stande ist, der Oberfläche der Platte leicht anzuhängen, und folglich die secundäre Theilungsart anzuzeigen. Die kleinen Haufen, die er in der Mitte jedes der ursprünglich schwingenden Theile bildet, können sich längs einer Kreislinie ausziehen, ohne sich, vermöge ihrer Adhärenz, zu trennen; so zeigen sie die wechselnde Lage der schwingenden Abtheilungen, und folglich auch die der primären Knotenlinien an. Die Weite dieser Schwankungen ist um so beträchtlicher, je schneller man den Bogen streicht und ihn von der schwingenden Scheibe abzieht. Erschüttert man die letztere immer an demselben Punkte ihres Umfangs, so wird man die Knotenlinien immer zu einer neuen Bewegung bestimmen, und läßt man

*) Strechke a. a. D. S. 894 ff.

die Bogenstriche in bestimmten Zwischenräumen erfolgen, so wird man die kleinen Staubbäuschen sämmtliche schwingende Abtheilungen hindurchgehen, daselbst einen Augenblick sich aufhalten, und sich hiernach auf den benachbarten schwingenden Theil übertragen sehen. Vervielfältigt man aber lebhaft die Bogenstriche, so wird die Mitte jeder schwingenden Abtheilung nicht mehr durch ein augenblickliches Verweilen des Staubes angezeigt; das System der schwingenden Theile wird der Sitz einer rotirenden Bewegung, welche durch einen fortwährenden Strom von Staub angezeigt wird, ähnlich einer kleinen die Form eines Ringes annehmenden Wolke. Bei schnellen Schwingungen kann man die Veränderung der Knotenlinien auch durch das Bild der Sonne, wenn man das Sonnenlicht auf die Scheibe fallen läßt, wahrnehmen. Dieses Bild erscheint auf einer kreisförmigen ruhenden Scheibe oval, dagegen sternförmig, wenn die Scheibe beim Schwingen eine diametrale (sternförmige) Klangfigur zeigt. Rücken nun die Knotenlinien weiter, so verräth auch das sternförmige Bild eine kreisförmige Bewegung. — Auch an Gloden und Ringen zeigt sich die beschriebene Erscheinung, insofern diese verschiedenen Körper einer und derselben Theilungsart, und also auch einer und derselben Schwingungszahl fähig sind, welchen Punkt man auch als Erschütterungsort wählen möge. Da die wesentliche Bedingung zur Hervorbringung dieser Bewegung darin besteht, daß die schwingenden Theile ihre Stellung verändern können, ohne daß die Zahl der Schwingungen verändert werde, so begreift man, daß man sie bei den kreisrunden Platten nur wird hervorrufen können, wenn sie diametrale Knotenlinien, sei es diese allein oder begleitet von Kreislinien, entwickeln.

Chladni hatte von seinen ersten Versuchen an erkannt, daß bei den hölzernen Scheiben die in den verschiedenen Richtungen sich nicht gleich bleibende Elasticität die diametralen Knotenlinien verhindert, ihre Stellung zu verändern, und sich nach allen Seiten hin um den Mittelpunkt zu bewegen, wie bei den Scheiben von Glas oder Metall. Diese auffallende bisher noch unerklärte Beobachtung nahm Savart *) zum Anhaltspunkt für eine neue Arbeit. Wenn die ungleichartige Elasticität die einzige Ursache ist, welche die diametralen Knotenlinien verhindert, ihre Stellung um den Mittelpunkt herum zu verändern, so kann man umgekehrt den Schluß machen, daß, wenn man ein und dasselbe Knotenliniensystem auf einer Platte festbegrenzte Stellungen einnehmen läßt, diese Platte nicht ein und dieselbe Elasticität nach allen Seiten hin parallel ihren Flächen besitzt. Da nun aber feststoffliche Substanzen, z. B. der Bergkrysal, der Kalkspath u. a., nicht wie das Holz sichtbare Spuren der Aufeinanderfolge ihrer Lagen oder Streifen zeigen, so begreift man, daß es möglich wird, zu erkennen, ob ihre Elasticität nach allen Seiten hin dieselbe ist, wenn man sie in Blättchen schneidet, diese schwingen läßt und beobachtet, ob ein und dasselbe Knotenliniensystem vorzugsweise gewisse Stellungen um das Centrum herum einnimmt. Savart machte zu diesem Zwecke folgende



Versuche. Er hatte bemerkt, daß, wenn man eine homogene elliptische Platte von Glas oder Metall (s. beistehende Figur) schwingen läßt, das System der beiden diametralen perpendicularen Linien sich unabwiegend gemäß den Richtungen der großen Axe AA' und der kleinen Axe BB' aufstellt, und daß, will man durchaus die Richtung dieser

*) Ann. de Chim. et Phys. T. XL. Pogg. Ann. Bd. XVI. S. 208.

Systeme verändern, indem man einen der äußersten Punkte dieser Axen erschüttert, dies zwar geschieht, aber nicht ohne Störung des ganzen Systems, denn es verwandelt sich in eine Art von Hyperbel $U' H'$ und $V' V'$, deren erste Axe sich nach der Hauptaxe der Ellipse richtet; der Ton aber wird tiefer. Es bedarf eines größeren Kraftaufwandes, um die Ellipse nach AA' zu wenden, als nach BB' ; mithin richtet sich die erste Axe der Hyperbel nach dem größten Widerstande in der Biegung. Eine Zinnplatte zeigt ähnliche Phänomene, wenn man nach einer Richtung ihre Elasticität durch mehrere parallele Sägechnitte vermindert, die einen Theil ihrer Dicke aufgehoben haben. Bei diesem Zustand kann das System der beiden diametralen perpendicularen Linien sich nicht mehr um den Mittelpunkt drehen; die eine der Linien bleibt fast in der Richtung parallel den Sägechnitten, und die andere perpendicular. Aber erschüttert man diese Punkte, so bildet sich das System um, und wird eine Hyperbel, der Hauptaxe noch in der Richtung des größten Widerstandes in der Biegung sich erstreckt. Um hiernächst die Phänomene zu studiren, welche die Platten zeigen, deren Elasticität gradweise nach ihren perpendicularen oder in verschiedenen Richtungen wechselt, schnitt Savart eine große Menge kreisförmiger Platten, deren parallele Oberflächen er mehr oder weniger gegen die Ebene der Fasern oder gegen die Fasern selbst neigte. Gesezt z. B. CC' (s. beistehende Figur) stellt einen Würfel von Buchenholz vor, dessen



Oberfläche parallel der Ebene der Fasern sei, während die Fläche T perpendicular auf ihren Schnitt, und die Fläche B perpendicular auf die Enden der Fasern ist. Hat man nun mehrere ähnliche Würfel, die alle fehlerfrei, aus demselben Stück Buche geschnitten, und unter sich vollkommen homogen sind, so kann man daraus Platten von derselben Stärke und demselben Halbmesser schneiden, die man dann vergleichen kann,

als wären sie alle von einem und demselben Würfel; die einen schneide man perpendicular gegen die Fläche P , in den Richtungen PM , PM' , PD , und in den dazwischen liegenden Richtungen; die anderen perpendicular gegen die Fläche T , ebenfalls in den Richtungen TM , TM' , TD etc., andere endlich perpendicular der Fläche B , und ebenso nach den Richtungen BM , BM' , BD etc. Indem Savart diese sämtlichen Platten schwingen ließ, lediglich um das System der perpendicularen diametralen Knotenlinien, oder das der beiden hyperbolischen Linien zu erhalten, fand er merkwürdige Verbindungen zwischen den Stellungen dieser Systeme, und den Richtungen der verschiedenen Axen der Elasticität des Buchenholzes. Er erkannte, daß die Schwingungszahlen nur indirect mit den Theilungsarten verknüpft seien; denn zwei ähnliche Knotenfiguren können durch verschiedene Töne hervorgebracht werden, und ebenso kann umgekehrt ein und derselbe Ton bei zwei verschiedenen Knotenfiguren erfolgen. Endlich bei den aus heterogenen (wenn auch in der Masse gleichen) Bestandtheilen zusammengesetzten Platten, sind alle Theilungsarten doppelt, d. h. jede Theilungsart, besonders betrachtet, kann sich immer, obgleich sie allemal mehr oder minder beträchtliche Veränderungen erleidet, in zwei bestimmten Stellungen offenbaren.

Indem Savart drei kleine prismatische Stäbe mit viereckigen Basen, welche in ähnliche Würfel, wie die früheren, und nach den Richtungen DC' , DF , DR , geschnitten waren, schwingen ließ, leitete er aus den Tönen, welche diese Stäbe gaben, das Verhältniß des Widerstandes ab, welchen das Buchenholz der Vier-

gung an diesen drei rechteckigen Richtungen entgegengesetzt. Er fand, daß, wenn der der Biegung in der Richtung DC' geleistete Widerstand = 1 gesetzt wird, dieser Widerstand in der Richtung DR = 2,25 und nach DP = 16 betrage.

Ähnliche Forschungen stellte Savart mit dem Bergkristall an. Man weiß, daß diese Substanz in der Natur sehr häufig in der Gestalt eines sechseitigen Prismas, auslaufend in zwei sechseitigen Pyramiden vorkommt (s. nebenstehende Fig. I.). Die Linie SS' , welche die beiden Spitzen der Pyramiden verbindet, ist die Axe des Krystalls. Da nun bei den Platten, perpendicular auf diese Axe, das System der beiden diametralen perpendicularen Knotenlinien sich im Allgemeinen ohne merkliche Störung um den Mittelpunkt zu drehen vermag, so geht daraus hervor, daß die Elasticität nach allen Halbmessern hin (rechtwinklig auf die Axe) obngesähr die nämliche ist. Die Platten, welche der Axe parallel geschnitten sind, haben nicht nach allen Richtungen dieselbe Elasticität. Diejenigen, welche durch die



Axe und einen der Radien des Schnittes $ABCDEF$ des Prismas (s. nebenstehende Fig. II.) hindurchgehen, geben perpendicular Knotenlinien, oder das System der Hyperbeln, während die, welche durch die Axe und die Seite OP des vorübergehenden Schnittes gehen, nur zwei einigermaßen ähnliche, gleichwohl verschiedenen Tönen entsprechende Hyperbelsysteme zeigen. Die Aren dieser Hyperbeln scheinen unter sich einen Winkel von 51 oder 52° zu machen. Andere in verschiedenen Richtungen geschnittene Platten geben auch noch verschiedene Resultate, und Savart sah sich durch sämtliche Versuche über den Bergkristall zu dem Schluß veranlaßt, daß derselbe drei Systeme von Elasticität, jedes durch drei Linien dargestellt, besitze.

Wenn man dem Sande, mittelst dessen man die Klangfiguren darstellt, einen feineren Staub, wie Bärlappsaamen beimischt, so häuft sich dieser auf den schwingenden Abtheilungen an, und bildet die sogenannten Faraday'schen Ergänzungsfiguren. Die schwingenden Theile der Platte treiben nämlich die darüber befindliche Luft zurück, und zwar natürlich da am stärksten, wo die Bewegung am stärksten ist, also am wenigsten in der Nähe der Knotenlinien. Indem nun aber die Luft, während die schwingenden Theile der Platte nach der entgegengesetzten Seite, d. h. abwärts gehen, nicht so schnell den Raum über den Stellen der stärksten Bewegung ausfüllt, als dies in der Nähe der Knotenlinien geschieht, so entstehen von den Knotenlinien aus Luftströmungen nach den Stellen der stärksten Bewegung hin, wodurch der feine Staub mit fortgeführt und an den letztgenannten Stellen angehäuft wird. Daß die Sache sich so verhält, folgt nach Faraday aus Versuchen in stark verdünnter Luft, wo auch der feinste Staub sich an den Knotenlinien anhäuft *).

Gekrümmte Platten, wie Glocken (vergl. Art. Ton S. 407), theilen sich

*) Pogg. Ann. Bd. XXVI. S. 193. Streiche in Dove's Repertorium Bd. III. S. 124.

beim Schwingen wie ebene Platten in eine gerade Anzahl schwingender Abtheilungen, die durch Knotenlinien von einander getrennt sind und zugleich mit dem Ganzen schwingen können. Je zwei aneinander liegende Abtheilungen schwingen in entgegengesetztem Sinne. Bestreut man eine benetzte Glocke mit Sand, so läßt sich die Lage der Knotenlinien erkennen. Hat man aber eine Glocke, die auf einem Fuße ruht, so daß sie mit ihrer Oeffnung nach oben gekehrt ist, so kann man sie mit Quecksilber oder Wasser füllen, und den Rand mit einem Fiedelbogen streichen, um sie in Schwingungen zu versetzen. Man sieht dann, wie sich die Oberfläche der Flüssigkeit kräuselt und abtheilt. Die Tonhöhe oder die Schwingungszahl ähnlicher Glocken ist, wie bei den eben betrachteten Scheiben, proportional der Dicke und umgekehrt proportional dem Quadrate des Durchmessers.

Membranen (ausgespannte Häute) zeigen ganz ähnliche Schwingungen, wie die Platten. Man kann hierüber auch Versuche mit Papier oder Pergament oder noch besser mit sehr geschmeidiger und sehr gleichmäßiger Goldschlägerhaut anstellen. Savart, welcher diese Erscheinungen besonders untersuchte, befestigte die Membranen an ihren Rändern, indem er sie auf Rahmen von Holz oder über die Oeffnung einer Glasglocke leimte. Hierauf feuchtete er sie mehr oder weniger an, um ihre Spannung stärker oder schwächer zu machen, und näherte ihnen dann, um sie zu erschüttern, bis zu einer gewissen Entfernung, eine vibrirende Glocke oder eine Orgelflöte von vollem und anhaltendem Tone. So wie sich der Ton hören läßt, erhebt die Membrane, als wenn sie direct erschüttert worden wäre. Die Sandkörner, welche sie bedecken, springen auf ihrer Oberfläche und bilden, indem sie auf den ruhenden Punkten sich anhäufen, die Knotenlinien. Die Figuren, welche man erhält, sind außerordentlich verschieden; sie hängen von der Spannung der Membranen und der Höhe des sie treffenden Tones ab. — Ist die Membrane schmal und nur der Länge nach gespannt, so schwingt sie wie eine Saite.

Marr *) untersuchte die Knotenlinien auf gespannten, dünnen Häutchen aus Kautschuk, die er durch einen Luftstoß zum Tönen brachte, und zwar in der Weise, daß in eine senkrecht gegen das Häutchen stehende Röhre, die jedoch dasselbe nicht berührte, geblasen wurde.

Setzt man Streifen von Glas oder Metall, bei denen die Längendimension vorherrscht, durch Streichen mit einem Bogen in Transversalschwingungen, so kann eine Reihe paralleler, zur Länge des Streifens senkrechter Knotenlinien entstehen, die sich ebenfalls durch ausgestreuten Sand sichtbar machen lassen.

Auch elastische homogene Stäbe kann man, wenn man sie mit einem Bogen rechtwinklig streicht, in tönende Transversalschwingungen versetzen. Hier können nun verschiedene Fälle vorkommen. Daß ein Ende eines Stabes kann fest und das andere frei sein, oder daß eine kann sich bloß gegen eine feste Ebene stützen und das andere fest (eingeklemmt) oder frei sein, oder beide Enden sind ganz fest oder bloß angeklemmt, oder endlich beide ganz frei. Ist das eine Ende des Stabes befestigt (z. B. mittelst eines Schraubstocks) und das andere frei, so bewegt sich der ganze Stab bei der einfachsten Schwingungsart, wenn er seinen tiefsten Ton

*) Pogg. Ann. Bd. LXV. S. 148, Bd. LXVI. S. 109.

giebt, ohne Knoten hin und

I. II. III.



her (s. beisteh. Fig. 1.). Doch kann der Stab in diesem Falle auch mit einem oder mehreren Schwingungsknoten schwingen; bei einem Knoten schwingt er, wie Fig. II. zeigt, bei zwei Schwingungsknoten wie Fig. III. Solche Knoten lassen sich hervorbringen, wenn man den Stab an den betreffenden Stellen leicht berührt und dann streicht. Schwingt der Stab mit 1 oder 2 Knoten, so verhalten sich die Tonhöhen wie die Quadrate der Zahlen 2 und 5, bei mehreren Schwingungsknoten, vom zweiten an gerechnet wie die Quadrate von 3, 5, 7 etc. Ist das eine Ende des Stabes angestemmt, das andere frei, so giebt es keine Schwingungsart ohne Knoten, wohl aber kann er mit 1, 2, 3, 4, 5 etc. Knoten schwingen, wo dann die schwingenden Abtheilungen immer kleiner werden, je näher sie dem freien Ende des Stabes zu liegen kommen. Die Tonhöhen verhalten sich aber wie die Quadrate der Zahlen 5, 9, 13, 17 etc. Wenn beide Enden des Stabes frei sind, so schwingt er zunächst mit 2 Knoten, kann aber auch mit 3, 4 etc. schwingen, und die Tonhöhen entsprechen den Quadraten der Zahlen 3, 5, 7 etc. Ist ein Stab an beiden Enden angestemmt, so schwingt er ganz ähnlich wie eine Saite; die Tonhöhen entsprechen aber den Quadraten von 1, 2, 3, 4 etc. Sind beide Enden eingeklemmt, so kann der Stab ohne Schwingungsknoten, aber auch mit 1, 2, 3 etc. Knoten schwingen, und die auf einander folgenden Töne entsprechen den Quadraten der Zahlen 3, 5, 7 etc. Wenn endlich das eine Ende des Stabes ganz fest, das andere dagegen nur angestemmt ist, so können die Schwingungen sowohl mit als auch ohne Knoten geschehen, und die Tonfolge entspricht den Quadraten von 5, 9, 13, 17 etc.

Das Gesetz der Transversalschwingungen *) eines Stabes ist durch die Formel
$$N = \frac{a^2 g}{12} \sqrt{\frac{m}{\delta}}$$
 ausgedrückt, worin N die Schwingungsmenge in 1 Secunde,

a die Dicke und l die Länge des Stabes, m der Elasticitätsmodulus nach Gewicht, g die Schwere, δ die Dichte der Substanz des Stabes und a eine ganze Zahl bezeichnet, die für dieselbe Schwingungsweise constant ist, deren absoluter Werth sich jedoch von einer Schwingungsart zur anderen ändert. Bei zwei Stäben von

einerlei Stoff hat man $N:N' = \frac{e}{l^2} : \frac{e'}{l'^2}$, so daß die Tonhöhe der Dicke direct und dem Quadrate der Länge des Stabes umgekehrt proportional ist. Ist $e=e'$, so folgt $N:N' = l'^2:l^2$.

Die Schwingungen eines an einem Ende eingeklemmten, am anderen Ende freien Stabes lassen sich sichtbar machen, auf eine Weise, die im Art. Kalei-

*) Ueber die Schwingungen elastischer Stäbe und Streifen ist zu vergleichen: Daniel Bernoulli in *Com. Acad. Petrop.* Tom. VIII.; Euler in *Act. Acad. Petrop.* 1779. T. I. p. 103; Strahlke in *Pogg. Ann.* Bd. XXVII. S. 305 und *Dove's Repertorium* Bd. III. S. 108; Fehner's *Repert.* Bd. I. S. 264; Vaudrimont in *Ann. de Chim. et Phys.* T. XXXII.; J. Vissajous in *Ann. de Chim. et Phys.* 3me Série, T. XXX. p. 385.

dophon (Bd. IV. S. 185) beschrieben ist. Sonst erblickt man einen solchen Stab nur deutlich an seinen Schwingungsgrenzen, weil hier seine Geschwindigkeit und daher auch die seines Bildes auf der Netzhaut Null wird. Bekommt aber das freie Ende des Stabes an einer jener Grenzen wiederholte Stöße von einem festen Gegenstande, so erregen sie in dem Stabe Querschwingungen, deren eigenthümliche Bewegung, indem sie sich mit der allgemeinen Translationsbewegung combinirt, den Stab in den zwischen den Extremen der Ausbiegung begriffenen Lagen sehr deutlich macht. Die Beobachtung dieses schon früher, neuerdings von *Antoine* wieder in Erinnerung gebrachten Phänomens führte *Montigny* auf die Idee eines einfachen Verfahrens zur Zählung der Schwingungen eines elastischen Stabes in einer gegebenen Zeit. Das Ende des Stabes, um welches die Schwingungen geschehen müssen, ist senkrecht auf einer Rotationsaxe befestigt. Bekommt nun, während diese letztere rotirt, das freie Ende des Stabes einen Stoß gegen einen festen Gegenstand, so machen die auf diese Weise in seiner Rotationsebene erregten Querschwingungen des Stabes, diesen auf seiner ganzen Länge in vom Centrum auslaufenden und gleich-abständigen Lagen sichtbar. Die Anzahl der während einer vollständigen Umdrehung sichtbaren Bilder des Stabes steht aber im Verhältniß zu der seiner Schwingungen während dieser Umdrehung. Ist die Translationsbewegung gleichförmig, so müssen die Bilder des Stabes gleich-abständig sein; denn die Augenblicke der Wahrnehmung hängen ab von der Zeit, die verfließt zwischen dem Zustandekommen einer selben Phase bei zwei successiven rückgängigen Vibrationen. Diese Zwischenzeiten sind aber gleich, weil die Schwingungsbewegung des Stabes isochron ist. Durch die Combination dieser Bewegung mit der gleichförmigen Translationsbewegung müssen die Sichtbarwerden des Stabes in gleich-abständigen Lagen zu Stande kommen. Diese Gleichförmigkeit der Translationsbewegung erhält man leicht, sobald sie eine kreisförmige ist. Auch sieht man die Bilder auf Radien entstehen, die einen gleichen Winkel mit einander machen. Geschieht die Umdrehung der Axe, an welche der Stab befestigt ist, mit einer solchen Geschwindigkeit, daß auf der Netzhaut noch in demjenigen Augenblick ein Bild des Stabes merklich verweilt, wo auf demselben Radius des Kreises ein neues Bild entsteht, so beharren alle Bilder zwischen diesem letzten und dem ersten an demselben Orte des Umdrehungskreises, vorausgesetzt, die Geschwindigkeit bleibe gleichförmig. Es ist dann leicht, die Bilder zu zählen. Bezeichnet man mit t die Zeit einer vollen gleichförmigen Umdrehung der Axe, und durch n die Anzahl der während derselben wahrgenommenen Bilder, so ist $\frac{t}{n}$ der Zeitraum zwischen den Durchgängen des Stabes durch die

Orte, wo zwei benachbarte Bilder entstehen. Dieser Zeitraum drückt aber auch denjenigen aus, welcher zwei doppelte Vibrationen trennt. Daher hat man, weil die Anzahl der einfachen Vibrationen, jede von derselben Dauer ϑ , während einer vollständigen Umdrehung das Doppelte von n ist, $\vartheta = \frac{t}{2n}$.

Versuche, welche *Montigny* nach dieser Methode anstellte, bestätigten das in obiger Formel ausgedrückte Geſetz der Schwingungen elastischer Stäbe. Die hauptsächlichsten Vorrichtungen zur Ausführung dieser Versuche waren folgende. Eine Holzscheibe von 0^m,24 Durchmesser und 0^m,06 Dicke auf einer senkrechten

Are, die durch einen hinreichend starken Mechanismus in Umdrehung versetzt wird. In der Verlängerung der linearen Rotationsaxe sind zwei Kupferstücke von 4^{mm} Dicke und 25^{mm} Seite mittelst Schrauben wohl auf der Platte befestigt. In kleinem Abstände von einander parallel angebracht, dienen diese Stücke dazu, das feste Ende des schwingenden Stabes mittelst vier Druckschrauben stark einzuspannen. Der Stab befindet sich sonach parallel der Scheibe, in geringem Abstände von derselben. Die Stellung der beiden Kupferstücke erfüllt die Bedingung, daß der Durchschnitt der Einzwängung des Stabes, um welchen die Querschwingungen geschehen, sich in der Verlängerung der linearen Rotationsaxe befinde. Auf diese Weise laufen die Lagen, in welchen der Stab wahrnehmbar ist, radialiter von der Are aus, die zugleich das Centrum der Schwingungsbewegung des Stabes und das der Rotation in seiner Ebene ist. Um bei jeder Rotation den Stab in Schwingung zu versetzen, schlägt das freie Ende desselben gegen ein festes Kupferstück, welches sich durch eine Schraube dem vom Ende des Stabes beschriebenen Kreise mehr oder weniger nähern läßt, so daß sein Stoß Schwingungen von verschiedener Amplitude zu erregen vermag *).

Gekrümmte Stäbe gehorchen im Wesentlichen denselben Schwingungsgesetzen wie gerade Stäbe. Es gehört hierher die bekannte Stimmgabel (vergl. Artikel Ton S. 406). Man kann dieselbe sowohl durch Streichen mit einem Bogen als auch bekanntlich dadurch in Transversalschwingungen versetzen, daß man sie am Stiele faßt und einen Schenkel gegen einen festen Gegenstand schlägt. Sie kann mit 2, 4, 5 und mehr Schwingungsknoten schwingen. Bei vier Schwingungsknoten zeigt nebststehende Figur die schwingenden Abtheilungen. In Folge der Krümmung werden die Schwingungsknoten, zwischen welchen die Biegung liegt, in manchen Fällen einander sehr nahe gerückt.



Wir haben bereits hervorgehoben, daß in gespannten Saiten auch Längenschwingungen erregt werden können. Dies kann nun auch geschehen in Stäben und Röhren, wenn man ihren Theilchen eine der Are parallele Bewegung mittheilt. Und auch hier ist wieder zu unterscheiden, ob beide Enden des Stabes befestigt oder beide Enden frei, oder ein Ende eingeklemmt und das andere frei ist. Im Falle, daß beide Enden befestigt sind,

hat man für die Schwingungsmenge N in 1 Secunde
$$N = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{mg}{\delta}},$$
 wo l die

Länge, g die Schwere, m den Elasticitätsmodulus und δ wieder die Dichte der Substanz bezeichnet. Dieser Ausdruck gilt auch noch, wenn beide Enden frei sind. Ist aber der Stab an einem Ende befestigt und am anderen frei, so hat man

$$N = \frac{1}{4l} \sqrt{\frac{mg}{\delta}}.$$
 Der Ton, den dieser Stab giebt, ist also noch einmal so tief

oder er ist die tiefere Octave von dem Tone, den derselbe Stab geben würde, wenn beide Enden befestigt oder beide Enden frei wären. Im Uebrigen sieht man, daß die Schwingungsmenge der Länge des Stabes umgekehrt proportional ist **).

*) Siehe weiteres in Bullet. de l'acad. de Bruxelles. T. XIX. pl. 1. p. 227. Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 102.

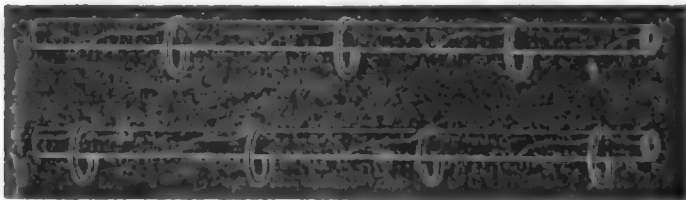
**) Ueber die Longitudinal-Schwingungen fester Körper s. Wertheim in Ann. de Chim. et Phys. Ser. III. T. XIX. p. 136. Pogg. Ann. Ergänzungsb. II. S. 116.

Nimmt man eine Glasröhre von ungefähr 2 Meter Länge und 3 oder 4 Centimeter Durchmesser und übt auf eine ihrer Hälften, während man sie mit der einen Hand genau in ihrer Mitte hält, mit einem Stück feuchten Tuches eine Reibung aus, so wird man augenblicklich einen Ton vernehmen, und nach einiger Uebung wird man diesem einen hohen Grad von Schärfe und Reinheit geben können. Die Schwingungen, welche man auf diese Weise hervorbringt, sind offenbar longitudinale Schwingungen. Wenn man immer auf dieselbe Weise durch eine hin- und herfahrende Bewegung reibt, aber mit mehr oder weniger Geschwindigkeit und mehr oder weniger Druck, so wird man eine Reihe verschiedener Töne erzeugen können und wenn man den ersten Ton der Reihe, d. h. den tiefsten mit 1 bezeichnet, so läßt sich leicht nachweisen, daß die übrigen Töne durch die Reihe der natürlichen Zahlen 2, 3, 4 ausgedrückt werden. Doch ist der Ton 4 bei einer Röhre von nur zwei Meter Länge schwer hervorzubringen. Derselben Resultate erhält man mit langen prismatischen Glasstreifen oder mit massiven Cylindern von derselben Substanz, ebenso mit Röhren, Streifen und Cylindern von Holz oder Metall; nur bei diesem letzteren würde es oft bequemer sein, eine andere Art der Erschütterung anzuwenden. Anstatt mit feuchtem Tuche zu reiben, wird man mit Tuch reiben können, welches mit Harz bestreut ist; noch besser ist es, mit Mastix oder Siegelack an das eine Ende der Cylinder oder der Streifen und auf die Verlängerung ihrer Axt eine hohle oder volle Glasröhre von etwa ein Decimeter Länge und fünf oder sechs Millimeter Durchmesser zu befestigen. Dann wird die angegebene Hülfsröhre mit feuchtem Tuche erschüttert und wenn der Mastix oder das Wachs wohl gegossen sind, so werden sich die Schwingungen ohne Mühe mittheilen. Wenn also gerade Stangen in der Mitte unterstützt und an den Enden frei sind, so vibriren sie wie offene Röhren und geben Töne, welche die Reihe der natürlichen Zahlen 1, 2, 3, 4 u. befolgen. Man kann sich leicht durch den Versuch überzeugen, daß Stäbe von derselben Substanz für ihren Grundton stets in Einklang sind, wenn sie dieselbe Länge besitzen, ihre Breite und Dicke mag sein welche sie will, nur müssen diese beiden Abmessungen stets klein gegen die dritte sein. Dagegen geben bei gleicher Länge Stäbe von verschiedenen Substanzen verschiedene Töne. Man kann indeß bemerken, daß sehr lange Stäbe den Ton 2 oder den Ton 3 leichter als den Grundton geben. Während daß diese festen Massen schwingen, vertheilt sich ihre Bewegung sehr ungleich in alle ihre Bestandtheile; der größte Theil derselben macht größere oder kleinere Ausweichungen und eine kleine Anzahl bleibt in Ruhe. Die Reihe der Ruhepunkte bildet auf der Oberfläche Linien, welche Knotenlinien heißen und (Savart's*) Beobachtungen haben gezeigt, daß bei den Schwingungen, um die es sich handelt, die Knotenlinien um die Röhren und Cylinder Curven beschreiben, welche den Schraubenlinien sehr ähnlich sind. Gesezt wir stellen den Versuch zunächst mit einer langen Glasröhre an, aus welcher man nur den Grundton lockt. Man hält diese Röhre ziemlich horizontal und schiebt über diejenige Hälfte, welche nicht mit dem feuchten Tuche gerieben wird, einen leichten Papierring (i. umstehende Figur), welcher z. B. den doppelten oder dreifachen Durchmesser der Röhre hat und beobachtet die Bewegungen dieses Ringes. So wie der Ton sich hören läßt, gleitet der Ring auf der Oberfläche der Röhre mit großer Lebhaftig-

*) Ann. de Chim. et Phys. T. XXV. p. 255.

zeit hin und bleibt endlich in einem gewissen Punkte stehen, zu dem er unaufhörlich zurückkehrt, wenn man ihn davon entfernt. Man bezeichnet diesen Punkt mit Tinte, er macht offenbar einen Theil der Knotenlinie aus; hierauf dreht man die Röhre ein wenig in der Hand, um eine andere Kante, auf welcher der Ring ruht,

I.



nach oben zu führen. Durch Wiederholungen des vorigen Versuches findet und bezeichnet man einen zweiten Punkt der Knotenlinie. Führt man fort die Röhre nach und nach in demselben Sinne zu drehen, so kann man nach und nach alle Punkte der Knotenlinie bezeichnen und findet auf diese Weise, daß sie eine Art Schraubenlinie mit sehr erweitertem Gange bildet, welche mehrere Mal um die Röhre herumgeht. Beistehende Figur stellt dieses ungefähr vor. Dreht man die Röhre, um den Ring auf ihre andere Hälfte zu setzen, so findet man hier eine ganz gleiche Curve mit dem besonderen Umstande, daß die eine dieser Curven nicht die Fortsetzung der anderen ist, daß aber alle beide von der Mitte auszugehen und sich in demselben Sinne umzuwickeln scheinen. In seltenen Fällen kommt es vor, daß die Schraubenlinie erst in dem einen Sinne, z. B. von rechts nach links sich wendet und sich dann plötzlich in die entgegengesetzte Richtung oder von links nach rechts umwendet, und wenn diese Erscheinung an dem einen Ende der Röhre auftritt, oder vielmehr an der einen Hälfte, so tritt sie ziemlich in derselben Entfernung vom Ende auch auf der anderen auf. Die innere Oberfläche der Röhre bietet eine Knotenlinie dar, welche der auf der äußeren Oberfläche gezogenen durchaus ähnlich ist; aber diese beiden Linien sind diametral entgegengesetzt, d. h. wenn man annimmt, daß die Röhre in zwei gleiche der Ase parallele Theile zerschnitten sei (s. beistehende Figur) und sich z. B. zwei Punkte der Knotenlinie U , U' auf der äußeren Kante befinden, welche nach oben gerichtet ist, so wird es zwei ent-

II.



sprechende Ruhepunkte B , B' auf der inneren Kante geben, welche nach unten gerichtet ist; und umgekehrt befinden sich die beiden Ruhepunkte O , O' der äußeren Kante, welche nach unten gerichtet ist, senkrecht unter H , H' auf der inneren Kante, welche nach oben gerichtet ist. Um den Lauf der inneren Knotenlinie zu bestimmen, bringt Savart in die wohl ausgetrocknete Röhre etwas Sand, dessen Körner gleichmäßig gut ausgetrocknet und hinlänglich stark sind, oder auch eine kleine Kugel von Kork oder Wachs; die Sandkörner oder die Kügelchen zeigen bei diesen Versuchen zuweilen eigenthümliche Drehungsbewegungen, welche von den zu beiden Seiten der Knotenlinie entgegengesetzten Geschwindigkeiten abhängen. Wenn man statt des Grundtones einer Röhre die Töne 2, 3 oder 4 entlockt, so findet man den vorher erwähnten ähnliche Knotenlinien. In der Richtung der Schraubenlinie

finden aber für den Ton 2 stets zwei Umkehrungen statt, d. h. von dem einen Ende der Röhre ausgehend wendet sich die Schraubenlinie z. B. von rechts nach links ungefähr bis zum ersten Viertel der Länge, dort kehrt sie um und wendet sich nun bis zum dritten Viertel von links nach rechts und dort endlich kehrt sie nochmals um, um sich wie anfangs von rechts nach links zu wenden. Für den Ton 3 giebt es drei Umkehrungen; die erste beim ersten Sechstheil der Länge, die zweite beim dritten Sechstheil und die dritte beim fünften Sechstheil. Für den Ton 4 finden 4 Umkehrungen statt; nämlich beim ersten, dritten, fünften und siebenten Antheil der Länge.

Die Brüder Weber *) wiederholten die Versuche Savart's mit vieler Sorgfalt. Sie benutzten dazu acht 6 Fuß und darüber lange Glasröhren von einem Durchmesser von $8\frac{1}{3}$ bis $2\frac{1}{2}$ Linien, die sie dann wieder in Röhren von verschiedener Größe zerschnitten. Eine solche Röhre wurde in ihrer Mitte zwischen zwei Fingern gehalten, oder besser, man umgab sie in ihrer Mitte mit einem einige Linien breiten Tuchriemen aus mehrfach zusammengelegtem Tuche, den man mit etwas Pflaster bestrichen hatte, damit er an der Glasröhre haften, ohne sie zu drücken, und näherte die beiden freien Enden des Tuchriemens zusammen, und klemmte sie in einen Schraubstock, so daß die Röhre horizontal ruhte, ohne an den Schraubstock zu stoßen, ein. Hiernach vertheilte man gleichmäßig durch die Länge der Röhre Sand, und brachte sie dadurch, daß man das eine Ende der Länge nach mit einem nassen Tuchlappen rieb, zum Schwingen und Tönen. Die Sandkörner fingen dann an einer bestimmten Anzahl von Stellen an, sich nach entgegengesetzten Richtungen aus einander zu bewegen, so daß diese Stellen endlich davon entblößt wurden. Zwischen jenen Stellen der inneren Oberfläche der Röhre, von welchen der Sand in der Richtung der beiden Enden der Röhre wegwanderte, lag eine gleich große Anzahl anderer Stellen, nach denen der Sand hinwanderte, und auf denen er sich anhäuften, indem er von zwei entgegengesetzten Richtungen herkam. Drehte man dann den Schraubstock und mit ihm die Röhre, ohne ihre Befestigung zu ändern, und vertheilte man nun den Sand auf der nach unten gewandten Oberfläche der Röhre wieder gleichförmig, so sah man bei Wiederholung des Versuches wieder dieselbe Wanderung des Sandes, nur nahmen die Zerstreuungs- und Sammlungspunkte des Sandes nicht dieselben Orte, wie vorher, ein u. s. w. — Die schraubenförmige Linie, worauf sich der Sand anhäuften, wand sich aber nicht gleichförmig um die Röhre herum, sondern bestand aus kurzen Stücken ab, cd, ef, gh (i. beistehende Figur), die sich fast quer um die Röhre bogen, und aus langen Stücken, die sich nur wenig bogen. Die



queren Stücke lagen in ziemlich gleich großen Abständen von einander, und zwar abwechselnd auf entgegengesetzten Seiten der Röhre. Es ergab sich, daß nur bei manchen Glasröhren, vorzüglich bei langen, die Linien, worauf der Sand gesammelt wird, und die, auf denen er zerstreut wird, schraubenförmig um die

*) Vergl. Wellenlehre S. 555.

Röhre gewundene, einander parallele, Linien bilden. Dagegen fand man, daß diese Linien bei kurzen, weiten und sehr regelmäßig gebildeten Röhren quere ringförmige Linien sind, die in regelmäßigen Zwischenräumen gefunden werden. Jede solche ringförmige Linie ist zur Hälfte eine sammelnde, zur Hälfte eine zerstreende.

Streut man auf einen langen und schmalen Streifen Sand, so wird man ihn während der longitudinalen Schwingungen lebhaft gleiten sehen und bemerken, wie er sich in gewissen Stellungen anhäuft und gerade Linien bildet, welche senkrecht auf den Kanten stehen. Dreht man diesen Streifen um, damit die Oberfläche, welche vorher nach unten gerichtet war, nach oben gerichtet werde, so erhält man bei derselben Versuchsweise im Wesentlichen das nämliche Resultat, allein die Knoten dieser Fläche entsprechen denen der ersten nicht, so daß die Linien beider

Flächen nicht senkrecht unter einander liegen. Nebstehende Figur zeigt einen Durchschnitt dieses Streifens, in welchem die Knoten so dargestellt sind, wie



man sie erhält, wenn die untere Fläche nach oben gekehrt ist. Bei einer gewissen Dicke des Streifens fand Savart sogar, daß die Knotenlinien der einen Fläche genau den Mittellinien der schwingenden Abtheilungen der anderen entsprechen. Man findet also bei Streifen hinsichtlich der Anordnung der Knotenlinien gewissermaßen etwas Ähnliches wie bei Glasröhren. Auch die Brüder Weber fanden, daß die Gestalt der sammelnden und zerstreenden Linien mancher schwingenden Röhren sehr mit der übereinkommt, welche die sammelnden Linien bei Glasstreifen haben. Ein zwei Fuß langer Glasstreifen wurde mittelst zwei Korkstückchen in einem in der Hand zu haltenden kleinen Schraubstock eingeklemmt, und gegen das freie Ende hin mit einem nassen Tuchlappen gestrichen; er zeigte dann auf der oberen Fläche, die mit Sand bestreut war, vier bis fünf quere sammelnde Linien. Hierauf drehte man den Streifen mit dem Schraubstock um, streute auf die nun obere, vorher untere, Fläche Sand, und rieb den Streifen wie vorher. Es zeigte sich wieder vier bis fünf Querlinien, die aber nicht senkrecht über den auf der entgegengesetzten Oberfläche sichtbar gewesenen lagen, sondern abwechselnd. Auf diese Weise erhielten die beiden Weber auch verzognere Figuren, die auf beiden Oberflächen die umgekehrte Lage hatten, und die einigermaßen den Schraubenlinien der Röhren zu entsprechen schienen. Alles dieses sind jedoch, bemerken dieselben, keine Klangfiguren; denn der Ton, dem ein solcher Streifen oder eine solche Röhre giebt, ist zwar sehr hoch, aber viel zu tief, als daß er von einem so kurzen Körper, der sich noch durch so viele Knotenlinien in Abtheilungen getheilt hat, herrühren könnte; sie rühren ohne Zweifel von kleinen Schwingungen einer höheren Ordnung her, die nicht mehr hörbar sind. — Auch müssen wir erwähnen, daß nach einer analytischen Betrachtung von Poisson die Längenschwingungen eines Stabes von transversalen (auf seiner Axe senkrechten) Schwingungen begleitet werden, die mit jenen isochron sind, und da die größte Ausbeugung bewirken, wo bei jenen ein Schwingungsknoten ist, und umgekehrt.

Doch vermochten die Brüder Weber einem Glasstreifen auch Längenschwingungen so mitzutheilen, daß die betrachteten Linien auf beiden Oberflächen senkrecht unter einander lagen. Sie nahmen dazu eine 2 bis 3 Fuß lange, 7 bis $7\frac{1}{2}$ Linien im Lichten weite Glasröhre, verstopften sie an ihrem einen Ende,

und fügten in eine Spalte des Stöpsels einen nicht zu langen Glasstreifen ein. Hierauf streute man Sand auf den Streifen, und brachte die Röhre zum Tönen, indem man sie mit einem nassen Tuchlappen der Länge nach rieb. Die Genannten meinen, man könne hieraus vielleicht schließen, daß die Knotenlinien der beiden Oberflächen des Streifens abwechselnd zu liegen kämen, wenn den beiden Oberflächen zugleich, durch das Reiben mit dem Tuchlappen, Stöße nach derselben Richtung ertheilt würden, daß dagegen die Knotenlinien auf beiden Oberflächen des Streifens senkrecht unter einander fielen, wenn sie gleichzeitig (vom Stöpsel) Stöße nach entgegengesetzter Richtung erhielten.

Endlich können Stäbe, wie Chladni *) fand, auch noch in drehende Schwingungen versetzt werden. Die Stäbe oder ihre schwingenden Abtheilungen bewegen sich dann abwechselnd nach rechts und links in einer schraubenförmigen Richtung. Um solche Schwingungen zu erregen, kann man einen Stab an einem Ende mittelst eines Schraubstockes befestigen und ihn mit einem Violinbogen senkrecht auf die Are in drehender Bewegung streichen. Ebenso entstehen drehende Schwingungen, wenn man eine Glasröhre, etwa 3 bis 3½ Fuß lang und 1/3 Zoll im Durchmesser, in ihrer Mitte mit den benetzten Fingern der linken Hand leicht anfaßt und sie mit der rechten Hand rasch in horizontaler Lage dreht. Man benutzte zu diesen Versuchen gewöhnlich cylindrische Stäbe, doch können auch Stäbe von anderer Form in solche Schwingungen gerathen. Wenn ein cylindrischer Stab an einem seiner Enden befestigt ist, so besteht nach Poisson's **) Untersuchung zwischen den Schwingungsmengen N und N' der longitudinalen und drehenden Schwingungen desselben die Proportion $N^2 : N'^2 = 5 : 2$, so daß also $N' = N\sqrt{2/5}$ ist. Hiernach erhält man den Ton, welchen ein Stab durch drehende Schwingungen giebt, wenn man den durch longitudinale Schwingungen erzeugten Ton desselben mit $\sqrt{2/5}$ multiplicirt.

Für die longitudinalen und transversalen Schwingungen eines cylindrischen Stabes, der an seinen beiden Enden frei ist, fand Poisson die Relation $N' = (7,12164) \frac{r N}{2 L}$, worin N die Anzahl der longitudinalen, N' die Anzahl

der transversalen Schwingungen in derselben Zeit, r den Halbmesser und L die Länge des Stabes bedeutet. Die Zahlen N und N' beziehen sich auf den tiefsten Ton beider Schwingungsarten. — Für einen parallelpipedi'schen Stab hat man,

falls r die halbe Dicke bezeichnet, $N' = (7,12164) \frac{r N}{L \sqrt{3}}$.

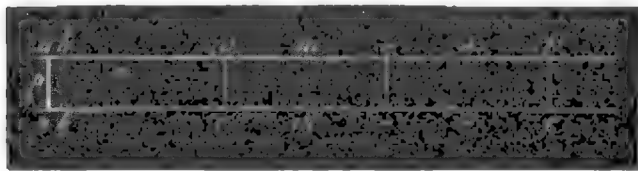
Wellenbewegung gasförmiger Medien. Die Theilchen gasförmiger Körper haben, wie man weiß, das Bestreben sich mit einer gewissen Kraft von einander zu entfernen. Steht nun diesem Streben nach Ausbreitung, wie gewöhnlich, ein äußerer Druck entgegen, so wird sich jene Kraft mit diesem Druck ins Gleichgewicht zu setzen suchen, und aus dem Conflict dieser beiden Kräfte resultirt für jedes Theilchen eine gewisse Spannung oder Druckwirkung, die es gegen die übrigen ausübt. Die Theilchen eines jeden der verschiedenen Gase, welche unsere atmosphärische Luft ausmachen, haben zwar das Bestreben sich von einander zu ent-

*) Akustik S. 110.

**) Mém. de l'acad. de sciences. T. VIII.

fernen, aber in Folge der Schwere auch das Bestreben, sich nach der Erde hin zu bewegen, woher es denn kommt, daß die oberen Schichten auf die tieferen drücken. Und so kommt denn auch hier den Theilchen eine gewisse Spannung zu, die mit wachsendem Druck zunimmt. Während bei den starren und innerhalb gewisser enger Grenzen auch noch bei den tropfbar flüssigen Körpern ein solches Gleichgewicht zwischen Anziehung und Abstoßung ihrer Theilchen besteht, daß die letzteren ihre diesem Gleichgewicht entsprechende Lage wieder einzunehmen suchen, wenn sie durch äußere Einwirkungen über diese Lage hinaus einander genähert und von einander entfernt worden sind, kommt bei gasförmigen vorzugeweise ihre sogenannte Druckelasticität in Betracht, vermöge deren die Theilchen, falls sie durch Verstärkung des Druckes einander näher gebracht werden, als dem Gleichgewicht der bestehenden Spannungsverhältnisse entspricht, sich wieder bis zu der diesem Gleichgewichte entsprechenden Lage von einander zu entfernen suchen. So viel ist nun gewiß, daß wenn ein Theilchen eines gasförmigen Mediums von bestimmter Spannung durch irgend eine Einwirkung in Bewegung gesetzt wird, dies auch für die benachbarten Theilchen von Einfluß sein muß.

Man denke sich eine mit Luft gefüllte Röhre, welche an einem Ende durch einen luftdicht schließenden, aber verschiebbaren Kolben verschlossen ist. Wird nun der Kolben p (s. beistehende Figur) etwas tiefer bis bb in die Röhre eingeschoben, so wird sein Stoß die Theilchen der zunächst vor ihm liegenden Luftschicht ver-



ichten, die dann wieder verdichtend auf die nächstfolgende Schicht u. s. f. wirken werden. Dabei bewegt sich jedes Lufttheilchen in der Richtung der Bewegung des Kolbens, indem es zugleich mit dem

Grade der Geschwindigkeit, den es erlangt hat, bewegend auf die benachbarten noch unbewegten Theilchen wirkt; so pflanzt sich die Verdichtung zu den vom Kolben entfernteren Luftschichten fort, und während dies geschieht, kehren die Theilchen, welche zuerst verdichtet wurden, zu ihrer ursprünglichen Dichtigkeit und Ruhe zurück. Auf solche Weise bewirkt die Bewegung des Kolbens eine sogenannte verdichtende (oder, wie man auch zu sagen pflegt, eine verdichtete) Welle, welche nach der Richtung hin fortschreitet, in welcher sich ihre Theilchen bewegen. Hätte man aber den Kolben um ebenso viel in entgegengesetztem Sinne bewegt, also um etwas zurückgeschoben, so würde der Luftsäule in der Röhre ein etwas größerer Raum dargeboten sein; die den Kolben (rechts) zunächst berührende Luftschicht würde demselben in diesem Falle nachfolgen, und sich verdünnen, während die nächstfolgende ebenso große Luftschicht an ihre Stelle treten und sich in derselben Richtung bewegen würde; und ebenso würde die dritte Schicht der zweiten, die vierte der dritten u. s. f. nachfolgen. Die hieraus sich ergebende Welle heißt eine verdünnende (oder auch verdünnte) Welle, indem wie vorher eine Verdichtung, so jetzt eine Verdünnung der Luft in derselben Richtung (von a nach f hin) in gleichem Maße fortschreitet; nur bewegen sich die Lufttheilchen selbst in einer der Fortpflanzung der Verdünnung entgegengesetzten Richtung, während dieselben bei einer verdichtenden Welle, wie bereits bemerkt, im Sinne der Fortpflanzung dieser Welle sich bewegen. — Macht nun der Kolben eine oscillirende Bewegung, d. h. eine Bewegung vorwärts bis bb und so fort von hieraus wieder zurück nach aa zu

seinem ursprünglichen Stande, so wird zunächst eine verdichtende Welle entstehen und dann dieser, während sich dieselbe weiter fortpflanzt, eine verdünnende Welle nachfolgen, indem beim Rückgange des Kolbens die zunächst gelegenen Luftschichten nicht allein zu ihrer Ruhelage zurückkehren, sondern auch noch dem Kolben nachfolgen. So entsteht zunächst eine Luftverdünnung in der Nähe des Kolbens an demselben Orte, wo vorher eine Verdichtung war, und die verdünnende Welle schreitet nun in derselben Richtung fort wie die verdichtende, die sich indessen noch weiter zu den vom Kolben viel entfernter gelegenen Luftschichten fortpflanzt. Jede Luftschicht macht nach einiger Zeit dieselbe Schwingung wie der Kolben, aber natürlich um so später, je weiter sie von ihm entfernt ist. Man denke den Kolben mit einer anfangs zunehmenden, dann wieder abnehmenden Geschwindigkeit vorwärts gestossen, und hierauf gleichfalls mit einer erst zunehmenden, dann wieder abnehmenden Geschwindigkeit bis zu seiner ursprünglichen Lage zurückgezogen, so daß also seine Geschwindigkeit in der Mitte des hin und zurückbeschriebenen Weges am größten, an den Grenzpunkten selbst aber Null ist. Die erste Wirkung des Kolbens von a aus habe sich nach einer gewissen Zeit bis f in der Luftsäule fortgepflanzt, und die Wirkung, wenn der Kolben in b angelangt ist, bis e , und die darauf folgende Wirkung, nachdem der Kolben wieder nach a zurückgekehrt ist, bis c . Dann ist die Luft in dem Raume ce verdünnt, in dem Raume ef aber verdichtet; dort haben die Lufttheilchen eine rückgängige Bewegung, hier eine nach f gerichtete. In dem Theile ef ist die Dichte und Geschwindigkeit der Theilchen in der Mitte n am größten; gegen e und f hin nehmen beide, Dichte und Geschwindigkeit, ab, so daß die letztere in e und f am kleinsten ist. Im Theile ce herrscht in der Mitte m die größte Verdünnung oder geringste Dichte, aber gleichfalls wieder die größte Geschwindigkeit, in e und c die kleinste. Beide Theile, ce und ef , zusammen genommen nennt man gewöhnlich eine Welle, und ef ihre Länge, so daß also jede Luftwelle dieser Art aus einem verdichteten und einem verdünnten Theile besteht. Doch ist der verdichtete Theil ef um die Schwingungsweite ab des Kolbens kleiner als der Weg, den die Verdichtung der Luft während der Vorrückung des Stempels zurücklegt, und der verdünnte Theil ce um ebenso viel größer als der Weg, durch welchen sich die Verdünnung der Luft während des Rückganges des Kolbens verbreitet. Und so ist denn die Länge ef einer ganzen Welle dem Wege oder der Länge des Raumes gleich, durch welchen sich die schwingende Bewegung der Luft während einer Oscillation, d. h. während eines Hin- und Herganges des Kolbens (oder auch während der Oscillation eines Lufttheilchens) fortpflanzt. Es ist also auch die Schwingungszeit eines jeden Theilchens gleich der Zeit, in welcher sich die schwingende Bewegung durch die Länge einer Welle fortpflanzt. Macht nun der Kolben oder ein Lufttheilchen in 1 Secunde n Schwingungen, so entstehen auch successive n Wellen. Bezeichnet man die Länge einer einzelnen Welle durch l , so ist also $n l$ die Länge des Raumes, durch welchen sich die schwingende Bewegung in 1 Secunde fortpflanzt. Und hiermit ist zugleich die Geschwindigkeit der Fortpflanzung gegeben; nennt man sie v , so hat man $v = n l$. Man erhält also die Geschwindigkeit, wenn n und l gegeben sind (s. Art. Schall, Bd. V. S. 707 ff.); und umgekehrt läßt sich die Länge l einer Welle finden, wenn man die sonst bekannte Geschwindigkeit v durch die Anzahl der in 1 Secunde vollzogenen Schwingungen dividirt.

Es sei hier beiläufig bemerkt, daß sich auf ähnliche Weise wie in einer cylin-

drischen (oder prismatischen) Luftsäule die Wellenbewegung in longitudinalem Sinne auch durch einen im Verhältniß zum Querschnitt langen cylindrischen oder prismatischen Stab aus einem nach allen Richtungen gleich elastischen Stoffe fort-
 pflanzt; und ebenso auch in einer Säule tropfbarer Flüssigkeit.

Wird ein Kolben oder eine Scheidewand, zu deren beiden Seiten sich eine Luftsäule forterstreckt, nach der einen Seite um etwas fortgerückt, so entsteht auf dieser Seite eine verdichtende, auf der anderen (entgegengesetzten) Seite aber eine verdünnende Wellenbewegung.

Befindet sich ein schwingender Körper im freien Luftraume, so breitet sich die Wellenbewegung ringsum aus. Es sei $k k k$ eine schwingende Kugel (s. beistehende



Figur), die sich abwechselnd bis zu einem gewissen Maße ausdehnt und wieder zusammenzieht; so erhalten die der Kugel zunächst liegenden Lufttheilchen, während sich die Kugel ausdehnt, einen Druck oder Stoß, in Folge dessen die Luft ringsum innerhalb gewisser Grenzen bis zu einem bestimmten Grade verdichtet wird. Jetzt durch den Stoß in Bewegung gesetzte Lufttheilchen wirkt dann wieder gemäß dem Grade der Geschwindigkeit, den es erlangt hat, bewegend auf die benachbarten noch unbewegten Theilchen. Da jedoch kein bewegtes Theilchen die benachbarten augenblicklich in eine ebenso große Bewegung

versetzen kann, als es selbst hat, insofern es nämlich alle die Stufen der Geschwindigkeit successiv durchlaufen muß, die zwischen der Ruhe und einem bestimmten Grade der Geschwindigkeit liegen; so wird sich die zunächst um die Kugel entstandene Verdichtung der Luft successiv weiter im Umgebungsraum verbreiten, d. h. es wird eine verdichtende Wellenbewegung entstehen, indem die zuerst verdichteten Lufttheilchen vermöge der Fortpflanzung des Stoßes die vor ihnen liegenden, diese wieder die zunächst vor ihnen liegenden u. verdichten. Und während dies geschieht, werden die zuerst verdichteten Theilchen wieder zu ihrer ursprünglichen Dichte und Ruhe zurückkehren. Ist nun die Luft überall gleichartig, so wird sich hier der Druck in gleicher Zeit nach allen Richtungen gleich weit verbreiten; und insofern jedes gestoßene Lufttheilchen nicht schnell genug ausweichen kann, verwandelt sich der Druck, den es nach einer Richtung hin erfährt, in einen Druck nach allen Richtungen. Jedes von der Kugel her gedrückte Lufttheilchen bewegt sich aber in einer mittleren Richtung, welche durch die Resultirende der sich zum Theil aufhebenden Druckwirkungen bestimmt ist, d. h. in der Richtung des verlängerten Halbmessers der Kugel $k k k$, in dem es liegt. Zieht sich nun die Kugel wieder zusammen, so entsteht eine verdünnende Wellenbewegung, die sich von der Kugel aus ebenso, wie die verdichtende, successiv im Umgebungsraume sphaerisch ausbreitet. Nimmt man an, daß nach einer gewissen Zeit, vom Anfange der Bewegung an gerechnet, sich die Einwirkung der Kugel während ihrer Ausdehnung durch die umgebende Luft bis c , die zweite Einwirkung während ihrer Zusammenziehung, welche eine verdünnende Wellenbewegung zur Folge hat, bis h fortgepflanzt

hat; so werden nun die Lufttheilchen zwischen aaa und bbb eine rückgängige Bewegung annehmen, während die Theilchen zwischen bbb und ccc noch nach vorwärts bewegt sind. Die Theilchen in der Kugelschale von der Dichte ac bilden eine Welle, die aus zwei concentrischen Hälften ab und bc besteht; in der einen Hälfte ab ist die Luft verdünnt, in der anderen bc verdichtet; dort haben die Theilchen, wie schon bemerkt, eine rückgängige, hier (in bc) eine nach vorwärts gerichtete Bewegung. Die Theilchen zwischen k und aaa sind wieder in ihre Ruhelage zurückgekehrt; und während die Theilchen in der Mitte zwischen aaa und bbb (in dem punktierten Kreise) ihre größte rückgängige Bewegung haben, besitzen die Theilchen in der Mitte zwischen bbb und ccc ihre größte Geschwindigkeit nach vorwärts, während für die Theilchen in ccc die Bewegung gerade beginnt. Die Dichte ac der Kugelschale zwischen aaa und ccc ist die Länge der ganzen Welle. Und es gilt auch hier, daß die Länge einer solchen Welle gleich der Länge (oder hier der Dichte) des Raumes ist, durch welchen sich die schwingende Bewegung fortpflanzt, während der schwingende Körper (die Kugel) oder auch ein Lufttheilchen eine Schwingung vollendet. Wenn nun die Kugel ihre Schwingung, d. h. ihre Ausdehnung und Zusammenziehung fortbauend erneuert, so wird sie ununterbrochen abwechselnd hinter einander eine Reihe verdichtender und verdünnender Wellen erregen, die wie concentrische hohle Kugeln liegen, und sich mit einer gleichförmigen Geschwindigkeit ausdehnen. Ein Lufttheilchen, durch dessen Ort eine Reihe solcher Wellen hindurchgeht, muß sich in der Richtung des durch seinen Ort hindurch verlängerten Radius der Kugel hin und her bewegen, und zwar nach vorwärts, während eine verdichtende Welle, nach rückwärts, während eine verdünnende Welle durch seinen Ort hindurch geht. Was wir aber oben eine ganze Welle genannt haben, besteht in der angegebenen Weise aus zwei Hälften, einen verdünnten und verdichteten Theil. Die Länge einer solchen Welle (das obige ac) ändert sich während ihrer weiteren Ausbreitung nicht, wohl aber nimmt die Größe der Verdichtung und Verdünnung der Luft ab. Die Schwingungswelte der Theilchen vermindert sich beim Fortschreiten der Wellenbewegung, in dem Maße wie der Raum größer wird, den die Welle einnimmt. Während die Länge der Welle dieselbe bleibt, erhält die letztere selbst einen immer größeren Umfang, indem die hohle Kugel, welche die Welle darstellt, im Fortschreiten immer größer wird, dergestalt, daß ihr Halbmesser gleichförmig wächst. Die hohle Kugel nimmt an Umfang zu wie die Quadrate ihrer Halbmesser, und in demselben Verhältnisse nimmt die Größe der Bahn ab, die jedes durch die Welle bewegte Lufttheilchen beschreibt. Deshalb nimmt dann auch die Stärke (Intensität) des Schalles im freien Luftraum ab wie die Quadrate der Entfernungen der Schallwelle vom Orte ihrer Entstehung zunehmen.

Ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit v der Wellenbewegung bekannt, und kennt man noch den Zahlenwerth t der Zeit, während welcher ein schwingendes Theilchen eine Oskillation vollendet, und während welcher sich die schwingende Bewegung durch die Länge l einer Welle fortpflanzt, so ist die Wellenlänge $l = vt$.

Auf der zuvor betrachteten Wellenbewegung beruht nun die Fortpflanzung des Schalles in der atmosphärischen Luft oder überhaupt in einem gasförmigen Medium. Vollziehen die Theilchen eines tönenden Körpers in einer gegebenen Zeit eine gewisse Anzahl von Schwingungen, so entstehen in der umgebenden Luft

(auf die beschriebene Weise) ebenso viele Wellenimpulse, die sich in dem betreffenden Raume unserem Gehörorgane mittheilen. — Bei einem einfachen Schall, den man, wenn er heftig ist, bekanntlich einen Knall zu nennen pflegt, entsteht durch die erste Erschütterung der Luft an der Ursprungsstelle des Schalles eine verdichtende oder verdünnende Welle, ohne daß derselben wie bei einem musikalischen Tone, der durch stehende Schwingungen erzeugt wird, in raschem Wechsel eine regelmäßige, verdünnende und verdichtende Wellenbewegung nachfolgt, so daß denn auch unser Gehörorgan nicht in einer geregelten Weise durch eine Reihe von Wellenimpulsen afficirt wird. So verhält es sich bei dem Knallen mit der Peitsche und bei Explosionen oder Detonationen, indem entweder die Luft in einem luftleer gemachten Raum plötzlich hineinflürzt oder aus einem gegebenen Raum plötzlich nach allen Seiten hinausgetrieben wird. Bei einem einfachen Schalle kehrt jedes Lufttheilchen nach Vollendung einer Schwingung, deren Weite bedeutend sein kann, in seine Ruhelage zurück. Es entspricht dies dem Falle, wenn die oben angenommene (oscillirende) Kugel sich nur einmal plötzlich ausdehnt oder nur einmal zusammenzieht, so also, daß kein Wechsel dieser beiden Actionen stattfindet. Eine solche Ausdehnung hat nur eine verdichtende, und eine solche Zusammenziehung nur eine verdünnende Wellenbewegung zur Folge.

Es ist bekannt, daß man wie einen Knall, so auch einen anderen Schall, falls er nicht fortdauernd erneuert wird, an einer Stelle der Luft nur einen kurzen Moment hindurch hört, und nicht mehr dann, wenn die Schallwellen bereits weiter zu anderen Luftschichten übergegangen sind. Die fortschreitende Welle läßt also die Luft hinter sich ruhig zurück, so daß z. B. eine verdichtende Welle, indem sie vorwärts schreitet, nicht auch nach rückwärts verdichtend wirkt. Hat sich einmal eine regelmäßige Wellenbewegung in der Luft gebildet, so schreitet jede Elementarwelle nur im Sinne der Fortpflanzung der Wellenbewegung überhaupt fort, nicht aber im entgegengesetzten Sinne. Aus der bisherigen Darstellung der Wellenbewegung in der Luft läßt sich schon entnehmen, daß dies daher rühren müsse, weil die schwingenden Theilchen nach der Richtung der Wellenfortpflanzung auf ruhende Theilchen stoßen, die sie zur Bewegung veranlassen, nach der entgegengesetzten

Seite aber auf bewegte Theilchen, die sie zur Ruhe bringen. Es läßt sich dies mit Rücksicht auf das Gesetz der Elasticität nach Weber*) folgendermaßen erläutern. Man denke sich unter a b c d e f g h (i. nebenstehende Figur) Lufttheilchen in einer Röhre, und zwar in dem Grade der Dichtigkeit, welcher ihrem Ruhezustande entspricht. Erhalten nun die Theilchen d, e eine doppelt so große Dichtigkeit als die anderen, d. h. werden sie einander doppelt so nahe gebracht (Fig. 1), so müssen sie sich vermöge ihrer Spannkraft, die mit der Dichte zunimmt, nothwendig von einander zu entfernen streben, indem sich e nach f, d nach e hin bewegt. Die Verdichtung muß



fernen streben, indem sich e nach f, d nach e hin bewegt. Die Verdichtung muß

*) Wellenlehre S. 483.

also von d , e aus nach beiden Seiten der Röhre hin fortschreiten. Empfangen dagegen die Theilchen d , e eine gewisse Geschwindigkeit nach e zu (Fig. 2), ohne daß ihre Dichtigkeit eine von der Dichtigkeit der übrigen Luft verschiedene ist, so bewirken sie gleichfalls einen Stoß, der nach beiden Enden der Röhre fortschreitet, dergestalt aber, daß der nach e hin fortschreitende verdichtend, der nach f hin fortschreitende verdünnend sein wird. Denkt man sich jedoch (Fig. 3) die Theilchen d , e verdichtet, und legt ihnen zugleich eine Bewegung nach einer und derselben Richtung bei, die ebenso groß ist als der Druck, den die Theilchen durch das Bestreben, sich wegen zu großer Dichte ins Gleichgewicht zu setzen, nach e und f gleich stark ausüben, so muß e nothwendig in Ruhe bleiben, weil es von zwei gleichen Kräften nach entgegengesetzten Richtungen getrieben wird, einmal nämlich wegen der erhöhten Spannkraft zwischen ihm und d nach f hin und gleichzeitig in Folge seiner schon erlangten Geschwindigkeit ebenso stark nach e hin. Dagegen bewegt sich d mit einer doppelten Kraft, nämlich mit seiner schon erlangten Geschwindigkeit und der durch seine zu große Dichte in Bezug auf e veranlaßten, nach e hin, wodurch es eine Fortpflanzung der Bewegung nach dieser Seite hin bewirkt. Nun nähert sich d dem e so lange, bis es ihm so viel von seiner Geschwindigkeit mitgetheilt hat, daß die Geschwindigkeit beider gleich ist, und zwar halb so groß als die, welche d vorher allein hatte. Mit dem Drucke nun, den d auf e hierbei ausübt, ist gleichmäßig das von der Dichte zwischen d und e abhängige Bestreben zwischen beiden, sich von einander zu entfernen, gewachsen. Dieses Bestreben ist nach der Natur der Elasticität gleich groß als die bewegende Kraft in d und e . Es tritt mithin für die letzteren derselbe Fall ein wie vorher bei d und e , nämlich d muß jetzt zur Ruhe kommen und e sich mit der Geschwindigkeit, die ihm von d mitgetheilt wurde, und mit der, die ihm das Bestreben mittheilt, sich von d wegen der stattfindenden Verdichtung zu entfernen, nach b hin bewegen, d. h. mit derselben Geschwindigkeit, mit der sich vorher d nach e hin bewegte. Die Theilchen erhalten hiernach die Lagen Fig. 3, 4 u. c. Erhalten die Theilchen d , e eine Geschwindigkeit nach einer und derselben Richtung, die ebenso groß ist als die, welche ihnen durch eine Verdünnung mitgetheilt wird, so wird aus demselben Grunde, wie in dem vorigen Falle die verdichtende Welle, jetzt eine verdünnende Welle nach einer einzigen Seite hin fortschreiten.

Wir bemerken hier noch, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen unabhängig ist von der Oscillationsgeschwindigkeit der Lufttheilchen, oder von der Zeit, welche ein Theilchen braucht, um eine Schwingung zu vollenden. Wenn in einem Falle die Oscillationsgeschwindigkeit doppelt so groß ist als in einem anderen Falle, so liegen in jenem Falle zwischen denselben Grenzen doppelt so viele Wellen als im zweiten; allein in beiden Fällen pflanzt sich die schwingende Bewegung in derselben Zeit gleich weit fort. Vollzieht ein schwingender Körper unter sonst gleichen Umständen nur eine Oscillation, während ein anderer in derselben Zeit deren zwei vollbringt, so pflanzt sich die Wellenbewegung in dieser Zeit in dem einen wie in dem anderen Falle durch einen gleich langen Raum fort; in dem ersten Falle liegt aber nur eine Welle auf einer Strecke von derselben Länge, auf welcher im zweiten Falle zwei Wellen liegen. Jede von diesen letzteren ist jedoch nur halb so lang als die zuvor erwähnte Welle.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schallwellen ist unabhängig von der Intensität und Höhe des Tones, so daß sich starke und schwache, hohe und tiefe

Töne mit gleicher Geschwindigkeit in der Luft oder überhaupt in demselben gasförmigen Medium fortpflanzen. Und man weiß ja, daß die verschiedenen Töne einer entfernten Pflanz gleichzeitig zu unserem Gehörorgane gelangen.

Der Wind hat Einfluß auf die Geschwindigkeit des Schalles (s. Art. Schall, Bd. V. S. 701 ff.). — Auch ist es bekannt, daß man den Schall in der Richtung des Windes besser hört, als wenn der letztere vom Beobachter nach der Schallquelle hin geht. De la Roche *) und Duval fanden, daß diese Ungleichheit in der Stärke des Schalles erst in größerer Entfernung von der Schallquelle auf fallend wird, und daß die Verbreitung des Schalles in einer gegen den Wind senkrechten Richtung ebenso stark und sogar noch etwas stärker ist als in der Windrichtung selbst. Stokes hat es versucht, diese Erscheinungen aus dem Umstande abzuleiten, daß die vom Winde fortgetriebene Luft durch Hindernisse am Boden eine Verzögerung erfahre, so daß dann die Wirkung des Windes mit wachsender Höhe über dem Boden zunehmen müsse. Hierdurch erhalte die Schallwelle eine ellipsoide Gestalt; ihre Oberfläche treffe den Boden auf der Seite, nach welcher der Wind geht, unter einem spitzen Winkel, auf der entgegengesetzten unter einem stumpfen, und in der zur Windrichtung senkrechten Richtung unter rechten Winkeln. Und hieraus sollen nach Stokes die erwähnten Erscheinungen resultiren **).

Gelangt die Wellenbewegung aus einem Medium an die Grenze eines anderen von dem ersteren verschiedenen Mediums, so entstehen meist zwei Wellen, von denen die eine in dem neuen Medium fortgeschreitet, die andere aber in das vorige Medium zurückgeht und eine sogenannte reflectirte Welle bildet, und dies findet z. B. statt, wenn eine Schallwelle aus einem Gase in ein anderes von verschiedener Dichte übergeht. Trifft aber die ursprüngliche Schallwelle auf ein festes Hinderniß, so kann sie auch vollständig reflectirt werden. Ist c ein fester Punkt (s. beistehende Figur), von den Wellen nach der festen Wand ab gehen, und sind d und e Punkte



Fig. 1. Reflexion der Wellen an einer festen Wand.

der Wand, welche von zwei Elementarwellen in verschiedenen Momenten getroffen werden, so verhalten sich diese Punkte wie die Mittelpunkte neuer Wellen df und ek . Von den Punkte c gehe eine Senkrechte auf ab herab, und es sei $cn = nc'$. Werden nun von c' gerade Linien durch d und e gezogen, bis sie den reflectirten Wellen f und k begegnen, so ist $c'f = c'k$. Will nämlich die schwingende Bewegung die Wege edf und cek in gleichen Zeiten zurücklegt, so hat man

$ed + df = ec + ck$. Und da die Dreiecke cnd und $c'nd$, so wie auch die Dreiecke cne und $c'ne$ congruent sind, so ist auch $ed = c'd$ und $ce = c'e$, mithin $c'd + df = c'e + ck$ oder $c'f = c'k$. Wenn man sich nun mit den

Wellen nähert,

*) Ann. de Chim. et Phys. T. 4. p. 176.
**) E. Math. 1837, p. 368.

*) Ann. de Chim. et Phys. T. 4. p. 176.

Halbmesser $c'f$ eine Kugelfläche beschrieben denkt, so berührt diese sowohl die beiden zuvor betrachteten als auch alle anderen von den verschiedenen Punkten der Wand ausgehenden Elementarwellen. Diese Elementarwellen bilden nun zusammen die eigentliche wirkame Welle, welche letztere eben die Berührungskugel sämtlicher Elementarwellen ist. Wird also eine von einem Punkte ausgehende sphärische Schallwelle von einer Ebene zurückgeworfen, so ist es so, als ob die reflectirte Welle von einem Punkte ausgegangen wäre, der auf der anderen Seite der zurückwerfenden Ebene in derselben Entfernung liegt, wie jener Punkt vor dieser Ebene. — Stößt eine Luftwelle gegen eine feste Wand, so erzeugt der verdichtete Theil der directen Welle auch den verdichteten Theil der reflectirten, und der verdünnte Theil der ersteren den verdünnten Theil der letzteren, insofern die Theile der Wand weder merklich ausweichen noch auch den schwingenden Lufttheilchen nachfolgen können.

Von dieser regelmäßigen Reflexion der Schallwellen ist zu unterscheiden eine unregelmäßige, wie sie z. B. an rauhen Flächen vorkommen kann, durch welche die auffallende Welle in einzelne Elementarwellen aufgelöst oder zerstreut wird, so daß sich dieselben nicht wieder zu einer wirkamen Schallwelle zusammensetzen können.

Die Schallwellen erleiden aber nicht allein eine Reflexion, wenn sie aus einem Gase in ein anderes übergehen, sondern auch, was theoretisch zu erwarten ist, eine Brechung. *Sondhauf* wies diese Brechung vermittlest Linsen nach, die aus Collodiumhäutchen gebildet waren, und *Hajech* *) benutzte hierzu neuerdings eine prismatische Vorrichtung, bestehend aus einer cylindrischen Büchse, die an beiden Enden mit einer dünnen Membran geschlossen und mit den zu untersuchenden Gasen oder Flüssigkeiten gefüllt wird. Diese Vorrichtung brachte nun *Hajech* in der Scheidewand zweier benachbarter Säle an. In dem Falle, daß die beiden schließenden Membranen mit einander parallel oder beide winkeltrecht zur Axe der cylindrischen Büchse waren, gingen die Schallstrahlen, welche von den Glocken eines Schlagwerkes herrührten, in geraden Linien ungebrochen hindurch. Gab man aber der einen Membran eine schief geneigte Lage gegen die Röhrenaxe, so fand eine Ablenkung der Schallstrahlen statt, deren Betrag *Hajech* aus der Größe des Ablenkungswinkels an einem auf dem Zimmerboden gezogenen Gradbogen bestimmte. Das Prisma wurde mit Wasserstoffgas, Ammoniakgas, Leuchtgas, Kohlensäure, schwefliger Säure, Brunnenwasser oder gesättigter Kochsalzlösung gefüllt. Es zeigte sich, daß die Brechungscoefficienten sehr nahe übereinstimmten mit den Quotienten aus den Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Schalles in der atmosphärischen Luft und dem untersuchten Medium; auch erschienen diese Coefficienten für hohe und tiefe Töne von gleicher Größe. In Folge der Brechung des Schalles kann denn auch eine Concentration desselben durch convexe und concave Linsen stattfinden. *Hajech* füllte zu diesem Behufe die convexen Linsen mit Kohlensäure oder schwefliger Säure, die concaven mit Wasserstoffgas oder Brunnenwasser.

Wenn eine Luftwelle auf eine mit einer Oeffnung versehene Wand trifft, so lassen sich die in der Oeffnung liegenden Lufttheilchen als die Mittelpunkte neuer

*) Archiv. de science. phys. et nat. Gen. T. XXXV. p. 128. Pogg. Ann. Bd. CIII. S. 163.

Wellen betrachten, die zur Interferenz gelangen und hier dieselbe Erscheinung bedingen, die wir schon bei den Wasserwellen unter dem Namen der Beugung (s. Art. Inflexion, Bd. IV. S. 36) kennen gelernt haben.

Luftwellen, die sich begegnen und durch einander durchgehen, stören sich im Allgemeinen nicht. Es findet zwischen ihnen ein solcher Umtausch der Kräfte statt, daß nach der Durchkreuzung jede Welle ihren Lauf so fortsetzt, als ob keine Störung erfolgt wäre. Wenn mehrere Wellenzüge sich in demselben Medium (Luft) verbreiten, so superponiren sich, wie man zu sagen pflegt, die verschiedenen einfachen Schwingungsbewegungen ungestört, indem die Einwirkung, welche ein Theilchen erfährt, bestimmt ist durch die Summe der Kräfte aller einzelnen Wellenzüge. Doch gilt diese ungestörte Superposition, streng genommen, nur unter der Voraussetzung verschwindend kleiner Schwingungen. Treffen zwei verdichtende oder zwei verdünnende Wellen zusammen, so findet eine Summation der Verdichtungen und Geschwindigkeiten statt, während beim Zusammentreffen einer verdichtenden mit einer verdünnenden Welle eine Subtraction der betreffenden Dichten und Geschwindigkeiten in Betracht kommt. Die Wirkung, welche zwei sich begegnende Wellen auf ein ruhendes Lufttheilchen ausüben, läßt sich immer nach dem Parallelogramm der Kräfte bestimmen, wenn die Richtungen der schwingenden Lufttheilchen, welche dasselbe treffen, einen Winkel mit einander einschließen. Gehen zwei Luftwellen von verschiedenen Punkten aus, aber in derselben Richtung fort, so wird die Bewegung eines ruhenden Theilchens bestimmt durch die Summe der Geschwindigkeiten, mit welchen die bewegten Theilchen der beiden Wellen dasselbe treffen. Begegnen sich aber zwei Wellensysteme in entgegengesetzten Richtungen, so heben sich die Wirkungen beider auf ein ruhendes Theilchen natürlich auf, insofern dasselbe von entgegengesetzten Seiten her zu gleichen, aber der Richtung nach entgegengesetzten Bewegungen veranlaßt wird.

Durch eine Interferenz directer und reflectirter Luftwellen können nun auch in der Luftsäule einer Röhre stehende Schwingungen hervorgebracht werden. Es geschieht dies in ähnlicher Weise wie wir es oben bei den Wasserwellen oder den transversalen Schwingungen einer Saite gesehen haben. Eine fortschreitende Welle, welche in die Luft einer Röhre eindringt, wird an dem anderen Ende der letzteren, falls dasselbe geschlossen ist, auf bekannte Weise reflectirt, so daß eine verdichtende Welle auch nach der Zurückwerfung eine verdichtende, und eine verdünnende Welle auch nach der Zurückwerfung eine verdünnende bleibt. Ist die Röhre an beiden Enden offen, so erfährt die Wellenbewegung, bei ihrem Heraus treten aus dem anderen Ende gleichfalls eine Zurückwerfung, aber so, daß die verdichtende Welle zu einer verdünnenden, und eine verdünnende Welle zu einer verdichtenden wird. Während nämlich die Lufttheilchen in der Röhre fast nur in der Richtung der Länge der Röhre ausweichen können, vermögen dagegen die Lufttheilchen an der Oeffnung unter sonst gleichen Umständen geschwinde und weiter auszuweichen, insofern sie nicht allein die gerade vor ihnen liegenden, sondern auch die seitwärts befindlichen Lufttheilchen zusammendrücken, welche letzteren wieder auf die umliegenden wirken. Hätten die Theilchen einer verdichtenden Welle, während sie zur Oeffnung herausgestoßen werden, gar keinen Widerstand zu überwinden, so würde sich am Ende der Röhre eine verdünnende Welle von eben der Größe erzeugen, welche die aus der Röhre hervortretende verdichtende Welle hatte. Da jedoch die letztere einen Widerstand durch die vor der Röhre liegende Luft

erfährt, so findet an dem offenen Ende der Röhre keine vollkommene Reflexion statt; es entsteht eine viel schwächere verdünnende Welle, wenn eine verdichtende austrat. Und ganz ähnlich verhält es sich bei der Reflexion einer verdünnenden Welle am offenen Ende der Röhre. In dieser unvollkommenen Reflexion hat man auch den Grund gesehen, daß Blasinstrumente nur so lange tönen, als die Wellenerregende Ursache fort dauert.

Aus der Interferenz der directen und reflectirten Luftwellen entstehen nun, wie schon bemerkt, in der Luft der Röhre stehende Schwingungen, und hierauf beruht z. B. das Tönen der Luft in einer Orgelpfeife und in unseren Blasinstrumenten (s. Art. Ton, S. 409 ff.). Aus einer solchen Interferenz resultiren in der Luftsäule der Röhre schwingende Abtheilungen (sogenannte Bäuche), die durch Schwingungsknoten von einander getrennt sind. Zur Erregung derartiger Schwingungen ist es erforderlich, daß der Luft in der Röhre regelmäßig auf einander folgende abwechselnd verdichtende und verdünnende Stöße ertheilt werden, welche Wellen erregen, deren Länge in einem angemessenen Verhältniß zur Länge der Röhre steht. Doch genügt es zur Hervorrufung einer stehenden Schwingung schon, wenn unter einer Reihe von Stößen viele von der Art sind, daß ihre Dauer und Aufeinanderfolge in einem richtigen Verhältniß zur Länge der betreffenden Luftsäule steht. Dann werden diejenigen Wellen, welche stets in ihre eigene Bahn nach einer gewissen Zeit zurückkehren, an Größe zunehmen, insofern sie eben durch regelmäßig wiederkehrende Stöße verstärkt werden, während dies nicht der Fall ist bei solchen Wellen, die nicht in ihre eigene Bahn nach gewissen gleich großen Zeitabschnitten zurücklaufen. Solche Wellen verlieren sich, indem sie beim Hin- und Herlaufen immer schwächer werden. Wie wenig ganz regelmäßig wiederkehrende Stöße erforderlich sind, um eine schwache stehende Schwingung in einer regelmäßig gebildeten Röhre hervorzubringen, bemerken die Brüder Weber*), steht man darauf, daß Röhren von einer passenden Länge und Weite, durch das gewöhnliche Geräusch, welches die Luft am Tage erfüllt, fortwährend schwach tönen. Eine Röhre aus Pappe von 1 Fuß 3 Zoll Länge (Par. Maß) und $1\frac{1}{2}$ Z. Durchmesser gab an das Ohr fest angestemmt, wenn ihr anderes Ende offen war, a; hielt man das andere Ende mit der Hand zu, so summete sie a; hielt man die Röhre nur in die Nähe des Ohrs, so daß ihre beiden Enden offen waren, so summete sie gis.

Eine an einem Ende verschlossene Röhre (gedeckte Pfeife) giebt ihren tiefsten Ton, wenn ihre Länge gleich $\frac{1}{4}$ der Länge der einfallenden Schallwelle ist. Es bildet sich dann eine stehende Schwingung in der Art, daß die ganze Luftsäule von einem Ende der Röhre zum anderen hin und her schwingt. Den nächst höheren Ton giebt diese Röhre, wenn sich in ihrer Luftsäule zwei schwingende Abtheilungen bilden, welche durch einen Knoten von einander getrennt sind. Dies geschieht, wenn die Länge der einfallenden Welle, welche die stehenden Schwingungen veranlaßt, $\frac{3}{4}$ der Röhrenlänge beträgt. Ein nächst höherer Ton wird in derselben Pfeife erzeugt, wenn die Länge der einfallenden Welle $\frac{5}{4}$ der Pfeifenlänge beträgt. In diesem Falle bilden sich zwei Schwingungsknoten in der Luftsäule. Ein noch höherer Ton entsteht bei drei Schwingungsknoten, wo dann die Länge

*) Wellenlehre S. 521.

der erregenden Welle $\frac{7}{4}$ der Röhrenlänge ist. Die angeführten Töne entstehen also, wenn die Röhrenlänge $\frac{1}{4}, \frac{3}{4}, \frac{5}{4}, \frac{7}{4}$ der Wellenlänge beträgt. Bezeichnet man nun den tiefsten Ton der Pfeife durch 1, so liegen die auf einander folgenden Tonhöhen nach dem eben Angeführten in der Reihe der ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7, . . .

Eine an beiden Enden offene Röhre (Pfeife) giebt ihren tiefsten Ton, wenn ihre Länge halb so groß ist als die Länge der Welle, welche die Luftsäule zum Tönen bringt. Dieser Ton ist die Octave des tiefsten Tones, welchen eine gedeckte Pfeife von derselben Länge hören läßt, insofern nämlich die Schwingungszahl des ersteren doppelt so groß ist. Daher geben eine offene und gedeckte Pfeife nur dann denselben Ton, wenn jene doppelt so lang als diese ist. Giebt eine offene Pfeife ihren tiefsten Ton, so hat sie in ihrer Mitte einen Schwingungsknoten, während sich die Luft auf beiden Seiten desselben abwechselnd zu ihm hin und von ihm hinweg bewegt, so daß in der Mitte von einer halben Oscillation zur anderen das Maximum der Verdichtung der Luft mit dem Maximum ihrer Verdünnung wechselt. Den nächst höheren Ton giebt dieselbe Röhre, wenn ihre Länge der Wellenlänge des Tones gleich kommt. Es sind dann zwei Schwingungsknoten in der Luftsäule der Röhre vorhanden, die um $\frac{1}{4}$ ihrer Länge von den Enden abstehen. Der nun folgende höhere Ton entsteht, wenn die Länge der Röhre $\frac{3}{2}$ von der Wellenlänge beträgt. In diesem Falle bilden sich drei Schwingungsknoten, von denen einer in der Mitte liegt, während jeder der beiden anderen um $\frac{1}{6}$ der Pfeifen- oder um $\frac{1}{4}$ der Wellenlänge von dem Ende absteht. Die Längen der offenen Röhre, bei welchen die angeführten Töne (in Bezug auf die entsprechenden Wellenlängen) entstehen, sind also $\frac{1}{2}, \frac{2}{2}, \frac{3}{2}$, so daß sich die Töne der offenen Pfeife unter einander verhalten wie die natürlichen Zahlen 1, 2, 3 etc.

Bezeichnet man die Wellenlänge des betreffenden Tones durch 1, so hat man nach dem Vorstehenden für die Röhrenlängen bei einer gedeckten Pfeife $\frac{1}{4}, \frac{3}{4}$,

$\frac{5}{4}, \dots$ und bei einer offenen Pfeife $\frac{2}{4}, \frac{4}{4}, \frac{6}{4}, \dots$

Die vorher beschriebenen Schwingungsverhältnisse (resp. Schwingungsknoten) der tönenden Luftsäule einer Pfeife ergeben sich, wenn man die Interferenz des directen und reflectirten Wellensystems unter der Voraussetzung untersucht, daß die Länge der durch die abwechselnd verdichtenden und verdünnenden Stöße erregten Wellen, wie wir angegeben haben, in einem bestimmten Verhältnisse zur Länge der Röhre steht.

Um die Schwingungsknoten einer tönenden Luftsäule durch den Versuch nachzuweisen, bediente sich Hopf in ^{*)} einer Glasröhre von etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser und 2 Fuß Länge, welche vertikal befestigt wurde. Nahe unter ihr wurde eine Glas- oder Metallplatte durch Anstreichen zum Tönen gebracht und so auch die darüber befindliche eingeschlossene Luftsäule in tönende Schwingungen versetzt. Nur war darauf zu sehen, daß unter der Mündung der Röhre keine Knotenlinie der Platte vorbeiging. In die Röhre ließ man einen mit einer zarten Membran

^{*)} Pogg. Ann. Bd. XLIV. S. 236. Dove's Repert. Bd. III. S. 33.

überzogenen Metallrahmen, an dem man die Membran mehr oder weniger spannen konnte, mittelst eines Fadens hinab. War nun die Membran mit feinem Sande bestreut, so konnte man aus der Bewegung desselben die Lage der Schwingungsbäuche und Schwingungsknoten erkennen. Es ergab sich, daß der Abstand der Knoten von einander, der Theorie gemäß, gleich der Hälfte der Wellenlänge des (der Platte entsprechenden) Tones ist; allein der Abstand des offenen Endes der (offenen) Röhre von dem nächsten Knoten ist geringer als $\frac{1}{4}$ Wellenlänge, und zwar beträgt dieser Unterschied um so mehr, je größer die Wellenlänge und je größer der Durchmesser der Röhre ist. Bei einer gedeckten Röhre fand sich, daß der Abstand des geschlossenen Endes von dem letzten Knoten etwas geringer als eine $\frac{1}{2}$ Wellenlänge oder daß der Abstand des ersten Knotens von dem anderen offenen Ende etwas größer als $\frac{1}{4}$ Wellenlänge ist. Auch sind die Knoten nicht Orte völliger Ruhe der Luft, sondern nur Orte kleinster Schwingung, was wohl eben eine Folge der unvollständigen Reflexion des directen Wellensystems ist.

Man kann mit derselben gedeckten oder offenen Pfeife durch immer stärkeres Anblasen verschiedene Töne hervorbringen, die in Rücksicht ihrer Höhe oder Schwingungsmenge nach dem Obigen der Zahlenreihe 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 entsprechen, so daß sich die ungeraden Zahlen auf die Töne der gedeckten und die geraden Zahlen auf die der offenen Pfeife beziehen. Die Töne der offenen Pfeife verhalten sich dann unter einander wie die Zahlen 1, 2, 3, 4 etc. Wertheim untersuchte nun das Verhältniß zwischen den successiven Tönen einer Pfeife und den entsprechenden Druckkräften der Luft, durch deren Einblasen die Töne erzeugt wurden. Es fand sich, daß sich diese Druck- oder Spannkraft im Allgemeinen verhalten wie die Quadrate der Ordnungszahlen der Töne, welche ihnen in der Reihe der harmonischen Töne entsprechen, also wie die Quadrate der Zahlen 1, 2, 3, 4, 5 etc.

Wir wissen schon, daß man die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft finden kann, wenn man die Länge einer offenen Pfeife multipliziert mit der Anzahl der Schwingungen der tönenden Luftsäule. Man erhält aber auf diese Weise eine zu kleine Geschwindigkeit. Es ist auch bekannt, daß die Töne der Orgelpfeifen meist tiefer sind als sie nach der Theorie, oder nach der Geschwindigkeit des Schalles in freier Luft sein sollten. Liszkovius *) hat dargethan, daß unter sonst gleichen Umständen die Vertiefung des Tones zunimmt mit dem Querschnitt der Pfeife. Dieser Unterschied ist um so merklicher, je kürzer die Pfeifen sind, und derselbe kommt von Störungen her, die an den Enden der Pfeife stattfinden, und zur Folge haben, daß die Länge der Luftsäule nicht genau gleich ist der ihrer soliden Hülle. Eine Störung besteht darin, daß der Querschnitt einer solchen Pfeife nur einen Theil des Querschnitts der Pfeife einnimmt, während die Theorie dieses Ende als ganz offen betrachtet, wozu vielleicht noch kommt, daß die Schwingungen in der Nähe des Mundstücks nicht streng longitudinal geschehen. Eine zweite Störung findet am entgegengesetzten Ende statt und wird bewirkt durch eine kleine Verlängerung der schwingenden Säule über die durch das Ende der Pfeife gehende Ebene hinaus, eine Ebene, an welcher, der Theorie zufolge, die Reflexion geschehen sollte.

Wertheim **) benutzte zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit Pfeifen,

*) Pogg. Ann. Bd. LVIII. S. 100 u. Bd. LX. S. 482.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXVII. S. 544.

die aus Stücken zusammengesetzt waren, und zog die eben angezeigten Fehlerquellen auf folgende Weise in Rechnung. Seien L_1 und L_2 die Längen zweier verschiedener Pfeifen, n_1 und n_2 die Anzahl der einfachen Schwingungen, die ihren Grundtönen entsprechen, v_1 und v_2 die unberichtigten Schallgeschwindigkeiten, x und y die Berichtigungen wegen des Mundstückes und wegen der Verschiebung der Knotenfläche, ausgedrückt in Pfeifenlängen. Sind nun die Pfeifen ungedeckt, und ist $L_1 < L_2$, so hat man $v_1 = L_1 n_1$, $v_2 = L_2 n_2$, und $x + y = \frac{v_2 - v_1}{n_1 - n_2}$.

Die Summe dieser Berichtigungen ist immer eine positive Größe, da $n_1 > n_2$, und den Versuchen zufolge auch $v_2 > v_1$. — Sind für dieselben, aber gedeckten Pfeifen n'_1 und n'_2 die Anzahl der Schwingungen, v'_1 und v'_2 die unberichtigten Geschwindigkeiten, so hat man $x = \frac{v'_1 - v'_2}{2(n'_1 - n'_2)}$.

Durch eine Combination mehrerer mit demselben Mundstück, aber mit sehr verschiedenen Pfeifenlängen gemachten Versuche kann man sich überzeugen, daß die Berichtigungen unabhängig sind von den Pfeifenlängen.

Die einzige Schwierigkeit besteht, wie *Wertheim* bemerkt, in der Bestimmung der wahren Grundtöne; bei den Pfeifen ist der Grundton nicht ganz fest, er schwankt innerhalb gewisser Grenzen mit der Stärke des Windes. Doch kann man nach *Wertheim* die Schallgeschwindigkeit in der Luft und wahrscheinlich in allen Gasen mittelst Orgelpfeifen wenigstens bis auf 0,01 bestimmen, wenn man die Störungen, die bei gedeckten Pfeifen am Mundstück, und bei offenen Pfeifen am Ende stattfinden, gehörig in Rechnung zieht. Der Mittelwerth der für jede Pfeife und jede Temperatur berichtigten Geschwindigkeit läßt sich mittelst

der Formel $v_0 = \frac{v_1}{\sqrt{1 + 0,003665 \cdot t}}$ auf 0° zurückführen.

Wertheim ermittelte die Werthe der beiden Berichtigungen für eine gewisse Anzahl Pfeifen von verschiedenen Dimensionen, die alle von demselben Künstler, Herrn *Marloye*, construirt waren. Nach directen Versuchen ist die Schallgeschwindigkeit in Luft bei 0° gleich 332,3 Meter. Da nun die Schallgeschwindigkeit in Pfeifen dieselbe ist, wie die in freier Luft, so kann man sich der letzteren bedienen, um die wahre Länge der schwingenden Luftsäule in einer Pfeife zu finden. Giebt bei der Temperatur t eine Pfeife von der Länge L offen die Schwingungszahl n und gedeckt die Anzahl n' , so hat man

$$x + y = \frac{332,3 \sqrt{1 + 0,003665 \cdot t}}{n} - L, \text{ u. } x = \frac{332,3 \sqrt{1 + 0,003665 \cdot t}}{2n'} - L.$$

Fermont *) hat darzuthun gesucht, daß der Ton in Pfeifen durch eine Schraubenbewegung der Luftsäule bedingt werde. Um die Schwingungen einer tönenden Luftsäule sichtbar zu machen, bediente er sich des Tabakrauchs, der in der Luft leicht erkennbar ist. *Fermont* führt folgende Fälle der Tonerzeugung an, bei denen eine Spiralbewegung zu beobachten ist.

Wenn eine gläserne Querpfeife mit Tabakrauch gefüllt ist, und man bläset an, so sieht man die Rauchsäule eine sehr regelmäßige Spirale beschreiben.

*) *Compt. rend. T. XVII. p. 800. Pogg. Ann. Bd. LXII, S. 576.*

Dasselbe ist der Fall, wenn man eine mit Tabakrauch gefüllte gläserne Orgelpfeife oder Flageoletpfeife anbläst. Auch wenn man auf dieselbe Röhre ein Zungenmundstück steckt, sieht man beim Anblasen die Rauchsäule eine Spirale bei ihrer Bewegung beschreiben.

Läßt man eine an einem Ende verschlossene Pfeife nach Art der Panflöte ertönen, so beschreibt die Rauchsäule ebenfalls eine (unregelmäßige) Spirale. Betrachtet man beim Savart'schen Versuche die Bewegung des Lycopodiums auf schwingenden runden Scheiben, so erkennt man leicht darin eine Spiralbewegung. Untersucht man die Bewegung des Wassers, welches einen Ton giebt, wenn es aus einer Oeffnung in dem platten Boden eines Gefäßes fließt, so sieht man leicht, daß es eine Spirale beschreibt. Wird Bindfaden auf der Seilerbahn gemacht, so beschreibt er vermöge des Rades, welches ihn zusammendrehet, eine Spirale, während zugleich ein sehr charakteristischer Ton entsteht. — Um darzutun, daß allemal ein Ton entstehe, wenn man die Luft zwingt, sich in einer Spirale zu bewegen, benutzte Fermoud ein kleines Instrument, das er Helicophon nannte. Dasselbe besteht aus einer Glasröhre, deren Länge wenigstens drei bis vier Mal so viel beträgt als ihr Durchmesser. An einem ihrer Enden verschließt man sie durch einen Stöpsel, auf dessen Umfang mehrere Schraubengänge eingeschnitten sind. Bläst man durch diese Oeffnung, so entsteht ein Ton, der desto höher ist, je stärker man bläst. Bei einiger Aufmerksamkeit soll man wahrnehmen können, daß der Klang und der Fortgang dieses Tones die größte Ähnlichkeit haben mit der Sirene von Cagniard-Latour, die der durch sie strömenden Luft eine Spiralbewegung einprägt, wovon sich Fermoud mittelst Durchleitung eines Rauchstromes überzeugete. Ersetzte man in dem Helicophon den Schraubengang durch Propfen, die mit einer Menge von transversalen und longitudinalen Sinuositäten besetzt waren, so gab der Versuch keinen Ton, obgleich die Umstände möglichst vervielfältigt wurden.

Bläst man eine mit Rauch gefüllte Glasflöte so an, daß sie ihren Grundton oder den Ton 1 giebt, so ist nach Fermoud leicht zu sehen, daß die Rauchsäule mit einer gewissen Geschwindigkeit begabt ist, während sich zugleich die ganze die Röhre erfüllende Rauchsäule in Bewegung befindet. Bläst man stärker, so daß der Ton in die höhere Octave übergeht, so bewegt sich die Spirale rascher u. s. f. Die Höhe oder Tiefe des Tones hängt von der Länge der Spirale, von der Spiralbewegung und von der Größe des Querschnitts der Spiralzone ab. Die Intensität des Tones scheint nach Fermoud von der Luftmenge abzuhängen, welche in die Zusammensetzung einer Spirale von gegebener Bewegung eintritt. Versetzt man z. B. den Spiralspropfen nur mit einer einzigen Schraubenfurche, so läßt sich kein Ton hören, versteht man ihn mit zwei, so entsteht eine Art Brummen, das man im Ohr empfindet; mit drei Furchen vernimmt man einen Ton, obgleich einen schwachen; mit einer größeren Anzahl endlich bekommt man einen hinreichend charakterisirten Ton. — Fermoud glaubt in Bezug auf diese Spiralbewegung, daß der Schneckengang im Ohre eine der wichtigsten Rollen spiele.

Auch H. Savart *) hatte schon derartige Spiralbewegungen tönender Körper beobachtet, doch, wie es scheint, nicht so allgemein und bestimmt wie Fer-

*) Recherches sur les vibrations de l'air Ann. de chim. et phys. T. XXIV. p. 56.

mond, der damit die Absicht verband, die Entstehung des Tones daraus abzuleiten.

Da in gewissen Fällen eine Spiralbewegung stattfindet, ohne daß irgend ein Ton erzeugt wird, so stellte Fermont noch einige weitere Versuche an, um die zur Tonerzeugung erforderlichen Umstände zu ermitteln^{*)}. Er zieht aus seinen Versuchen den Schluß, daß der Ton in Pfeifen nicht durch eine einfache Spiralebewegung erzeugt wird, sondern durch eine doppelte Bewegung, eine schraubenförmige und rotirende. Und diese Doppelbewegung soll denn auch die Fortpflanzung des Tones nach den drei Dimensionen des Raumes vollkommen begreiflich machen, die sich freilich auch ohne dies schon einsehen läßt.

Die Rotationsbewegung der Lufttheilchen soll die Bildung einer Curve bedingen, welche in der Spirale, von Abstand zu Abstand, eine Art Zusammenschnürung verursachen müsse, ganz analog denen, die F. Savart in seinen Arbeiten über die Flüssigkeitsadern beschrieben hat, und die keineswegs Knoten seien, wie derselbe voraussetzte. — Die Contraction in Pfeifen, die man für einen Knoten angesehen habe, scheint Fermont nichts zu sein, als die Folge einer Rotationsbewegung. Er nahm eine Röhre von der Länge eines Meters und steckte in eins von deren Enden einen Spiralsprossen, durch das andere füllte er sie mit Wasser. Dabei beobachtete er Folgendes. Läßt man der Röhre keine Länge, so entweicht das Wasser durch jede der Kannelirungen, dabei mit der Verlängerung der Röhrenare einen desto stumpferen Winkel bildend, als der Druck der Flüssigkeit stärker ist. Schiebt man den Sprossen hinein, um der Röhre eine gewisse Länge zu geben, so sieht man Strahlen aus den Schraubengängen hervorschießen, sich vereinen, zu einer bauchigen und spiralförmigen Schüssel (*nappe*) ausbreiten, wobei man schon am Wasser die Tendenz zur Bildung von Contractionen wahrnimmt. Giebt man endlich der Röhre eine zur Bildung eines wohl ausgeprägten Tones angemessene Länge, so sieht man die bauchige Schüssel sich zusammenziehend schließen, ganz analog dem, was man bei offenen Pfeifen eintreten sieht.

Bei jeder Tonbildung (in Röhren) ist es nach Fermont unmöglich, eine Aspiration zu verkennen, die so stark ist, daß sie Gase einzieht, Korkkügelchen und selbst eine Flüssigkeitssäule hebt. Da nun diese Aufsaugung im entgegengesetzten Sinne geschieht, so scheint es Fermont einleuchtend, daß diese entgegengesetzten Bewegungen den Lufttheilchen eine Rotation um sich selber einprägen müssen. Auch ist hiernach die Entstehung des Tones in der Sirene leicht zu begreifen; denn die obere Scheibe muß, indem sie sich dreht, den Lufttheilchen die erwähnte Rotationsbewegung mittheilen.

In einer Pfeife können zwei Schraubenbewegungen, eine rechts- und eine linksgehende, vorhanden sein, ohne daß dadurch der Ton gestört wird. In allen Pfeifen mit Mundstücken, sagt Fermont, kann man sehen, daß diese beiden Bewegungen gleichzeitig vorhanden sind, zunächst weil die Luftschicht, welche gegen die Schneide der Oberlippe stößt, keine Ursache findet, welche die Spirale mehr in dem einen als in dem anderen Sinne drehen sollte, dann, weil sich diese Erscheinung durch folgenden Versuch sehr augenfällig machen läßt. Man hält die

^{*)} Compt. rend. T. XVIII. p. 171. Pogg. Ann. Bd. LXII. S. 580.

Pfeife horizontal und streut *Lycopodium* an die Grundfläche des Pfropfens, der als Windlade dient, oder gegen die Mündung hin. Bläst man alsdann stark hinein, um die Töne 2, 3 oder 4 hervorzubringen, so fliehet man das *Lycopodium* wirbelnd herausfliegen; und wenn man diesen Wirbel genauer untersucht, so findet man, daß er aus zwei entgegengesetzt laufenden Spiralen besteht. Diese Erscheinung zeigt sich nicht bloß bei Pfeifen. Man sieht sie auch bei schwingenden Scheiben, und *S. Savart* hat sie sogar bei Platten bemerkt, die mitten in einer mit leichten Holztheilchen erfüllten Flüssigkeit vibrirten. Endlich führt *Fermont* noch an, daß eine schwingende Saite nothwendig in der Luft diese doppelten und entgegengesetzten Wirbel erzeugen müsse.

Wir haben schon früher, bei Betrachtung der *Chladni'schen* Klangfiguren, bemerkt, daß von den Knoten aus entgegengesetzte Luftströme nach den Stellen der stärksten Bewegung hin stattfinden, wodurch der feinere Staub eben diesen Stellen zugeführt wird. Und aus dem Zusammentreffen dieser Ströme mit der über den schwingenden Abtheilungen befindlichen Luft müssen allerdings zu beiden Seiten der Knotenlinie Wirbel entstehen. Diese Wirbel sind aber etwas Secundäres. Zunächst entsteht in Folge einer Erschütterung der Scheibe (oder Platte) eine Interferenz direct fortschreitender und reflectirter Wellen; hiermit bilden sich denn auch Knotenlinien und die erwähnten Wirbel. Auch das Tönen einer Luftsäule (in einer Pfeife) ist zunächst bedingt durch eine Interferenz directer und reflectirter Wellen. Zu den hieraus resultirenden stehenden Schwingungen mag sich nun sofort eine spiralförmige und rotirende Bewegung der Luftsäule gesellen, ja es mag auch richtig sein, was *Fermont* als wahrscheinlich hinstellt, daß nämlich jede Ursache, welche den Gang oder die Regelmäßigkeit der Spirale zu stören oder die Rotation der in ihr begriffenen Lufttheilchen zu hemmen strebt, beständig eine Schwächung und selbst eine Vernichtung des Tons zur Folge habe, insofern nämlich, fügen wir hinzu, als dadurch das Primäre der Tonerzeugung, was auch zu der spiralförmigen und rotirenden Bewegung Veranlassung giebt, eine Störung erleidet.

Fermont macht noch auf die Analogie aufmerksam, die zwischen dem Tone der Sirene oder dem des Helicophons und dem Tone eines etwas heftigen Windes vorhanden sei, und sucht wahrscheinlich zu machen, daß auch der Ton des Windes durch eine Spiralbewegung hervorgebracht werde. Bei dieser Gelegenheit reflectirt er auch auf das Phänomen der Windhoie (s. Art. *Wasserhoie*), bei welchem wohl gleichfalls eine schraubenförmige Bewegung der Lufttheilchen stattfindet. —

Eine ausführliche Zusammenstellung der über die Luftschwingungen in Röhren bis jetzt angestellten Untersuchungen hat *E. Kahl* *) gegeben. —

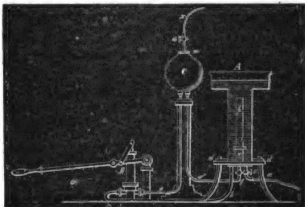
In ganz ähnlicher Weise wie in gasförmigen und selbst in starren Körpern können auch in tropfbaren Flüssigkeiten fortschreitende und stehende Schwingungen zu Stande kommen. Einiges hierauf Bezügliches findet man im Art. Ton S. 408 ff. *Wertheim* **) benutzte folgenden Apparat zur Erregung stehender Schwingungen und zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in

*) Zeitschrift für Math. und Physik von D. Schlämilch und Wipfchel. Bd. II. S. 229, 376.

**) Ann. de Chim. et Phys. Ser. III. T. XXIII. p. 434. Pogg. Ann. Bd. LXXVII. S. 427, 544.

tropfbaren Flüssigkeiten. Derselbe besteht aus einem Behälter für die Flüssigkeit, einer Orgelpfeife, einer Pumpe, einem Behälter mit Luft und einem Manometer. Der Behälter A (s. beistehende Fig. I.) für die Flüssigkeit, aus Zink gearbeitet, besteht aus einem Cylinder von 52 Centim. Höhe und einem kleinen Bassin auf seinem Scheitel. Durch Löthung ist er auf der großen bronzenen Platte d befestigt, die wieder einem eisernen Stativ aufgebolzt ist. Die horizontale Platte dieses Stativs verschließt die untere Oeffnung des Cylinders A; sie hat drei Löcher: das eine, in der Mitte, nimmt ein Treibrohr t auf, um die Pfeife b von unten her mit Wasser anzublasen, das zweite ein Saugrohr h, welches zur Pumpe k führt, und das dritte a ein Rohr zum Leeren des Apparats. — Die Pfeife b ist

I.



an ihrer Basis in c auf das Ende der centralen Röhre geschraubt, steht senkrecht und ist sowohl von der Flüssigkeit umgeben als mit ihr gefüllt. Die Pumpe k saugt die Flüssigkeit durch die Röhre h auf, und treibt sie durch das Steigrohr s in den Windkessel C. Der letztere, von Kupfer und 30 Centim. im Durchmesser, hat oben ein großes Loch, verschlossen durch eine Platte m mit einer Tubulatur zur Aufnahme der Verbindungsröhre x, die zu einem Manometer führt. Die Luft in C läßt sich so verdichten, daß das Manometer einen bestimmten Druck anzeigt, und man kann auch diesen Druck erhalten, während das Wasser in die Pfeife strömt, wenn man mit einer solchen Geschwindigkeit pumpt, daß das Manometer auf demselben Punkte stehen bleibt.

Die aus dem Behälter C tretende Flüssigkeit wird durch die Röhre s' in das Mundstück der Pfeife getrieben. Die Hähne l und u dienen zur Herstellung oder Unterbrechung der Communicationen zwischen dem Flüssigkeitsbehälter und Luftbehälter und zwischen diesem letzteren und der Röhre x.

Umstehende Fig. II. zeigt eine der benutzten Pfeifen, die aus drei Stücken zusammengekehrt ist. Das erste Stück besteht aus der Schraube, dem Mundloch und dem ersten Drittel der Länge; sie endigt mit dem Schraubengang h. Die beiden Labien des Mundloches bestehen aus zwei Platten d und e, mittelst Klam-

mern befestigt. Jedes der anderen Stücke besitzt an dem einen Ende einen Schraubengang *h* und an dem anderen eine entsprechende Mutter, so daß man durch successives Anschrauben an das erste Stück die Länge der schwingenden Säule

II.



verdoppeln oder verdreifachen kann, ohne daß die Innenwand aufhört, vollkommen glatt zu sein, was eine Bedingung zum Gelingen ist. Der Deckel *k* endlich, der sich auf jedes Stück schrauben läßt, dient zur Herstellung ebenso vieler gedeckter Pfeifen. — Was die Lippen des Mundloches betrifft, so muß man erst durch den Versuch die Lage ermitteln, die man ihnen zu geben hat, damit die Pfeife in der Flüssigkeit anspreche; denn es geschieht sehr häufig, daß eine für Luft vollkommen gut angelegte Pfeife kein Resultat in Flüssigkeiten giebt, oder erst bei einem ungemessen starken Druck zu ertönen beginnt. Für Flüssigkeiten muß im Allgemeinen der Ausschnitt oder die Oeffnung zwischen den Lippen weniger breit und weniger lang sein als für Luft, das Windloch größer sein, und die aus demselben hervordringende Schicht mehr geneigt gegen das Innere der Pfeife. Diese drei Abänderungen bewirkt man gleichzeitig, wenn man die untere Lippe vortreten und sanft auf den Anfang der geneigten Ebene, auf welcher die obere Lippe ruht, steigen läßt. Ist das Resultat noch nicht genügend, so verschiebt man die obere Lippe, bis man die Lage findet, bei welcher die zum Windloch ausströmende und gegen die Schneide stoßende Schicht kein Zischen und keine Rückstöße erzeugt, sondern durch diese Schneide in zwei Theile zertheilt wird, von denen der eine in die Pfeife dringt, der andere aber längs der oberen Lippe fortgleitet. — Leichte im Wasser schwebende Pulver hindern schon die Schwingungen desselben. Es ist auch Vorsicht anzuwenden, um nicht die wahren Töne der Pfeife, die Töne ihrer flüssigen Säule, zu verwechseln mit keinem der anderen Töne, die häufig entstehen. Die Pfeifentöne haben denselben Klang wie in der Luft; sie schwanken mit dem Druck nur zwischen sehr engen Grenzen, und sie ändern ihre Höhe, sobald man die Länge der Säule ändert. Oft hört man bei sehr schwachem Drucke die tiefe Octave des Grundtones, was *Wertheim**) schon bei den Longitudinalschwingungen starrer Körper beobachtet hat. Man vermeidet aber jeden Irrthum leicht, wenn man auf die Reihe der harmonischen Töne achtet. Die Töne des Mundstücks selbst sind wahrhafte Zischöne; sie steigen langsam und ins Unbestimmte mit dem Druck; und sie bleiben sich gleich, welche Abänderungen man mit der Länge der Oeffnung der Pfeife vornehmen möge. Diese Töne können mehr oder weniger intensiv sein, allein sie verschwinden niemals ganz, weder in Flüssigkeiten noch in Luft, und sie spielen, wie *Wertheim* glaubt, bei der Erzeugung der Pfeifentöne eine wichtige Rolle.

Man kann nun in Flüssigkeiten von einer Orgelpfeife, deren Mundstück ge-

*) *Ann. de Chim. et Phys. Ser. III. T. XIX. p. 136. Pogg. Ann. Ergänzungsbb. II. S. 116.*

hörig abgeändert ist, nicht bloß ihren Grundton, sondern auch eine große Anzahl ihrer harmonischen Töne erhalten, und daraus, auf dieselbe Weise wie bei der Luft, die Geschwindigkeit des Schalles in einer Säule oder einem Rade ableiten. Auch ist das Gesetz der successiven Drücke (zur Erzeugung dieser Töne) dasselbe für Wasser wie für Luft.

Die Schallgeschwindigkeit in einer Säule tropfbarer Flüssigkeit ergiebt sich nach der angeführten Methode, wenn man ihre Länge mit der Anzahl der Schwingungen multiplicirt, welche dem Grundtone der Säule entsprechen. Wertheim erhielt auf diese Weise für die mittlere Geschwindigkeit des Schalles in einer Wassersäule von der mittleren Temperatur 15° C. die Zahl 1173,4 Meter. Nun hat aber Wertheim *) dargethan, daß sich die Schallgeschwindigkeit in einer unbegrenzten Masse zu der in einem Rade von derselben Substanz verhält wie $V^{3/2} : 1$. Dies gilt auch für tropfbare Flüssigkeiten. Die Schallgeschwindigkeit in einer unbegrenzten Wassermasse von der Temperatur 15° C. ist hiernach $= 1173,4 \cdot V^{3/2} = 1437,1$ Meter. Die directe Beobachtung ergab bei 9° C. die Zahl 1435^m. Die nahe Coincidenz dieser beiden Zahlen zeigt, daß das Gesetz für Flüssigkeiten gültig ist. Und Wertheim folgert weiter hieraus, daß die Gleichheit des Druckes in allen Richtungen nicht bei den Schallschwingungen stattfindet, vielmehr eine flüssige Säule, die longitudinal vibriert, denselben Ton giebt wie ein starrer Stab, dessen Materie dieselbe cubische Compressibilität besitzt wie die Flüssigkeit, oder daß die Schwingungen einer flüssigen Säule isochron sind mit denen eines starren Stabes von derselben Länge und aus einem Material von gleicher Zusammendrückbarkeit mit der Flüssigkeit. Das Moleculargesetz ist dasselbe für flüssige wie für starre Körper. Schon Poisson **) hatte darauf hingewiesen, daß das Princip der allseitigen Gleichheit des Druckes, welches die Basis der Hydrostatik ausmacht, nicht anwendbar sei auf schwingende Flüssigkeiten (während der Schwingungen), und daß demgemäß die Resultate der Analyse einer Verification bedürften.

Ist die Zusammendrückbarkeit einer Flüssigkeit bekannt, so kann man daraus die Schallgeschwindigkeit herleiten, und umgekehrt. Sind nämlich für eine Flüssigkeit bei gegebener Temperatur: v die Schallgeschwindigkeit in einer unbegrenzten Masse, v_1 die Schallgeschwindigkeit in einer Säule oder einem Rade, ρ die Dichte und c die cubische Zusammendrückbarkeit unter dem Drucke von einer

$$\text{Atmosphäre; so hat man: } v^2 = \frac{3}{2} v_1^2, \quad c = \frac{9,8088 \cdot 0,76 \cdot 13,596}{\rho \cdot v^2}.$$

Folgende Tafel giebt einen Ueberblick der Resultate von Wertheim bezüglich der Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten.

*) Annal. de Chim. et Phys. Sér. III. T. XXIII. p. 52.

**) Mém. de l'acad. T. II. Journ. de l'Ecole polytechnique. Cahier. XX.

	Temperatur C°.	Dichtigkeit.	Schallgeschwindigkeit		Zusammen- drückbarkeit.
			in einer Säule.	in un- gegrenzter Röhre.	
Seinwasser	13°, 0	0,9996	1173°, 4	1137°, 1	0,0000491
„	30, 0	0,9963	1250, 9	1528, 5	0,0000433
„	40, 0	0,9931	1324, 8	1622, 5	0,0000388
„	50, 0	0,9893	1349, 0	1652, 2	0,0000375
„	60, 0	0,9841	1408, 2	1724, 7	0,0000346
Meerwasser (fünftl.)	20, 0	1,0264	1187, 0	1453, 8	0,0000467
Lösung von Chloratrium . . .	18, 0	1,1920	1273, 0	1561, 6	0,0000349
„ „ Schwefel. Natron . . .	20, 0	1,1089	1245, 0	1525, 1	0,0000393
„ „ „	18, 8	1,1602	1292, 2	1583, 5	0,0000348
„ „ Kohlenf. Natron . . .	22, 2	1,1828	1301, 8	1594, 4	0,0000337
„ „ salpeterf. Natron . . .	20, 9	1,2066	1363, 5	1669, 9	0,0000301
„ „ Chlorcalcium	22, 5	1,4322	1616, 3	1979, 6	0,0000181
Alkohol, gewöhnl., 36° B. . .	20, 0	0,8362	1049, 9	1285, 9	0,0000733
Alkohol, absolut.	23, 0	0,7960	947, 0	1189, 8	0,0000947
Terpentinöl	24, 0	0,8622	989, 8	1212, 3	0,0000800
Schwefeläther	0, 0	0,7529	946, 3	1259, 0	0,0001002

Wie sich die Zusammenrückbarkeit der Körper durch eine mathematische Relation mit der Schallgeschwindigkeit in Verbindung bringen läßt, so kann diese Geschwindigkeit auch noch mit andern physikalischen Eigenschaften der Materie in Beziehung gesetzt werden. *Raffon**) benutzte zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit die Formel $v^2 = \frac{g}{E} = \frac{g A c}{2 A} = \frac{g A k}{2 p d}$, wo v die Schallgeschwin-

digkeit, g die Beschleunigung der Schwere, E den Elasticitätscoefficienten, A das mechanische Aequivalent der Wärme (zu 420 Kilogrammmeter), d den linearen Ausdehnungscoefficienten, p das Aequivalentgewicht der Substanz, c die spezifische Wärme und $k = p c$ die spec. Wärme des Atoms bezeichnet.

Zu den Versuchen über die Schallgeschwindigkeit in Gasen und Dämpfen benutzte *Raffon* einen Ballon, in den mittelst eines Rohres die zu untersuchenden Gase gefüllt werden konnten. Durch ein zweites Rohr stand er mit einem Manometer in Verbindung, und ferner mit einem Blasebalg, um eine Pfeife, die nach außen mündete und gleichfalls mit dem Ballon verbunden war, zum Tönen zu bringen. Durch die Dämpfe von siedendem Wasser ließ sich der Ballon, nachdem man ihn innerhalb einer Zinkwanne angebracht hatte, auf 100° erwärmen. Für die folgenden Substanzen erhielt *Raffon* die beigezeichneten Schallgeschwindigkeiten.

	Schallgeschwin- digkeit bei 0°.		Schallgeschwin- digkeit bei 0°.
Luft.	333°, 00	Leichter Kohlenwasserstoff . . .	431°, 82
Schweflige Säure	209, 00	Kohlenoxydgas	339, 76
Schwefelwasserstoff	289, 27	Schwerer Kohlenwasserstoff . . .	318, 73
Stickoxydgas	325, 00	Fluorkieselsäure	167, 40
Kohlensäure	256, 83	Wasserdampf	401, 00
Stickoxydul	256, 45	Schwefelkohlenstoffdampf . . .	189, 00
Ammoniak	415, 00	Alkoholdampf	230, 59
Ethan	299, 48	Ätherdampf	179, 20
Salzsäuregas	297, 00	Chloräthyl	199, 00

*) Compt. rend. T. XLIV. p. 464. Pogg. Ann. Bd. CIII. S. 272.

Die Tonerzeugung überhaupt beruht also im Wesentlichen auf stehenden Schwingungen der betreffenden Körper, die Fortpflanzung des Schalles auf fortschreitenden Schwingungen des umgebenden Mediums.

Die stehenden Schwingungen tönender Körper können aber, wie uns bekannt ist, longitudinale, transversale oder normale, und drehende sein, während die den Ton fortpflanzenden Schwingungen wohl immer longitudinale sind. Die Höhe des Tones ist aber, wie wir wissen, durch die Wellenlänge bestimmt, unter welcher man im Allgemeinen die Länge des Weges versteht, auf welchem die schwingende Bewegung fortschreitet, während der tönende Körper oder dessen Theilchen eine ganze Schwingung vollenden, so daß die Wellenlänge abhängt von der Schwingungsdauer. Je kürzer die Wellenlänge oder je größer die Anzahl der Schwingungen in der Zeiteinheit (Secunde), desto höher ist der Ton. Dasjenige aber, was man wohl das Qualitative des Schalles zu nennen pflegt, nämlich der Klang, wodurch sich der Ton eines musikalischen Instrumentes von dem gleich hohen Tone eines anderen unterscheidet, hat man rücksichtlich seiner Ursache in Beziehung gebracht mit der Ordnung, in welcher die Geschwindigkeiten und Veränderungen der Dichtigkeit in den verschiedenen Luftabschnitten zwischen den beiden Enden einer Welle auf einander folgen. Töne von verschiedenem Klange sind keine einfachen, sondern gemischte, und wir wissen ja auch, daß in den tönenden Körpern außer denjenigen Schwingungen, welche die Höhe des Tones bestimmen, noch andere weniger deutlich vernehmbare Schwingungen stattfinden können, durch welche der Klang desselben bedingt werden mag.

So geben fast alle unsere musikalischen Instrumente zusammengesetzte Töne, in welchen der einfache Grundton mehr oder minder stark von gewissen anderen Tönen (Obertönen) begleitet ist, die jedoch schwächer als der Grundton sind. Mit Bezug hierauf könnte man mit Helmholtz *) den zusammengesetzten Ton eines musikalischen Instrumentes „Klang“ nennen und den Namen des Tones auf einfache Töne beschränken. Ein Klang wäre danach, wie Helmholtz sagt, eigentlich ein Accord mit überwiegendem Grundton, seine Stärke würde gleich der Summe der Stärke der einzelnen in ihn eintretenden Töne sein, seine Höhe gleich der Höhe seines Grundtones.

Die Geschwindigkeit, welche ein zur Welle eines einzelnen Tones gehöriges Theilchen zur Zeit t besitzt, drückt man gewöhnlich durch die Formel $a \cos 2\pi (mt + r)$ aus, worin a die Schwingungsweite, m die Schwingungsmenge und r einen constanten Zeitwerth bezeichnet. G. S. Ohm **) suchte nun darzuthun, daß ein Ton von der Schwingungsmenge m ausschließlich gebildet werde durch eine Bewegung von der Form $a \cos 2\pi (mt + r)$. Hierüber entspann sich eine Discussion zwischen Ohm und Seebeck **), welcher letztere behauptete, daß die Ohm'sche Definition des Tones der Erfahrung gegenüber zu beschränkt und vielmehr eine allgemeinere Formel aufzustellen sei, welche jene als einen besonderen Fall in sich schließe. Dieser allgemeinere Ausdruck für die Definition des Tones ist: $a_1 \cos 2\pi (mt + r_1) + a_2 \cos 2\pi (2mt + r_2) + a_3 \cos 2\pi (3mt + r_3) + \dots + a_n$, wo denn auch die folgenden Glieder zur Bildung eines Tones von der Schwingungs-

*) Pogg. Ann. Bd. XCIX. S. 497. 525 ff.

**) Pogg. Ann. Bd. LIX. S. 513; Bd. LXII. S. 1.

***) Pogg. Ann. Bd. LX. S. 449; Bd. LXIII. S. 353. 368.

menge zu beitragen können. Helmholtz erscheint die Angabe Seebeck's insofern ganz richtig, als man unter Ton das versteht, was oben mit dem Namen Klang bezeichnet ist, und was für die nur durch die Übung des gewöhnlichen Lebens geschulte Aufmerksamkeit allerdings ein sinnliches Ganze sei, während die Ohm'sche Definition des Tones in der That das zu bezeichnen scheine, was in der Thätigkeit des Gehörnerven das einfachste Element ist. Das Ohr scheint einen zusammengesetzten Wellenzug in seine Bestandtheile oder in die einfachen Schwingungsbewegungen, welche nach der mathematischen Entwicklung den einzelnen Wellenzügen zukommen, zerlegen zu können, insofern es nämlich den einer jeden solchen einfachen Schwingungsbewegung entsprechenden Ton hört. — Sind nun mehrere Wellenzüge, denen verschiedene Töne zugehören, gleichzeitig gegeben, so werden außer diesen Tönen keine anderen vernommen, falls eine ungestörte Superposition jener primären Tonwellen in der Luft stattfinden kann. Dies ist der Fall bei verschwindend kleinen Schwingungsweiten, oder nach Helmholtz *) bei endlichen Schwingungsweiten, wenn diese so klein sind, daß die durch die Verschiebung hervorgerufenen Bewegungskräfte diesen Verschiebungen selbst merklich proportional sind. Sonst können auch neue Systeme einfacher Schwingungsbewegungen entstehen, welche die sogenannten Combinationstöne bedingen **), die nur bei starken primären Tönen auftreten, während die sogenannten Stöße ***), die man sich seit T. Young in einem nothwendigen Zusammenhange mit den Combinationstönen dachte, bei sehr leisen Tönen hörbar sind.

Doppler ****) zeigte, daß die relative Bewegung eines tönenden Instruments Einfluß auf die wahrzunehmende Tonhöhe haben müsse. Wenn Instrument und Beobachter ihre Stellen nicht oder gleichviel verändern, wenn sie also relativ in Ruhe bleiben, so findet keine Veränderung der Tonhöhe statt. Ist aber das Instrument in Bewegung, so geht jede folgende Schwingung von einem anderen Punkt aus als die vorhergehenden, und wird deshalb auch eine kürzere oder längere Zeit nöthig haben, um den Beobachter zu erreichen, je nachdem die Bewegung des Instruments auf ihn zu oder von ihm abgerichtet ist. Die Größe der Beschleunigung oder Verzögerung, welche hieraus für jede folgende Schwingung resultirt, ist gleich der Geschwindigkeit der Bewegung dividirt durch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles. Bezeichnet man die letztere durch v , die Geschwindigkeit des Instruments durch a , so hat man $\pm \frac{a}{v}$. Das obere Zeichen

gilt für den Fall, in welchem sich das Instrument vom Beobachter entfernt, das untere für den Fall der Annäherung des Instruments zum Beobachter. Sind Instrument und Beobachter relativ in Ruhe, so empfängt das Ohr des letzteren, wenn das Instrument in 1 Secunde n Schwingungen macht, n Wellenstöße. Unter den zuvor angeführten Umständen werden aber die n Schwingungen nicht nach $\frac{1}{n}$ Secunde auf einander folgen, sondern nach $\frac{1}{n} \left(1 \pm \frac{a}{v} \right)$. Der wahrgenom-

*) N. a. D. S. 531 ff.

**) S. Art. Ton, Bd. VI. S. 396.

***) Art. Interferenz des Schalles, Bd. IV. S. 101 ff.

****) Ueber das farbige Licht der Doppelsterne etc. Prag 1842.

mene Ton entspricht daher $\frac{n}{1 \pm \frac{a}{v}}$ Schwingungen in der Secunde. — Bleibt das

tönende Instrument an seinem Orte, während der Beobachter sich mit der Geschwindigkeit a bewegt, so gehen freilich alle Schwingungen von demselben Punkte aus; allein sie werden den sich bewegenden Beobachter, doch früher oder später als nach $\frac{1}{n}$ Secunde erreichen, nämlich nach der Zeit $\frac{1}{n} \left(1 \pm \frac{v}{a}\right)$,

und der wahrgenommene Ton wird $n \left(1 \pm \frac{a}{v}\right)$ Schwingungen entsprechen. Der

Beobachter wird nun hiernach, wenn der Abstand zwischen ihm und dem Instrument sich vermindert, einen höheren, im entgegengesetzten Falle aber einen tieferen Ton vernehmen.

Akustische Versuche, welche Buys Ballot *) auf der Niederländischen Eisenbahn mit Anwendung einer Locomotive anstellte, haben die so eben erörterte Theorie im Wesentlichen bestätigt.

Doppler hat auch noch eine gewisse rotatorische Ablenkung der Schall- (und Licht-) strahlen und den Einfluß der Bewegung des Fortpflanzungsmittels auf die Erscheinung der Wasser-, Luft- und Aetherwellen behandelt **).

Die Fortpflanzung der Schallwellen in irgend einem Medium beruht im Allgemeinen auf Gesetzen, die wir bereits kennen gelernt haben. Während ein Theilchen des tönenden Körpers eine ganze Schwingung (hin und zurück) vollendet, schreitet die Tonwelle um einen ihrer Länge gleichen Weg fort. Jedes Theilchen des Mediums, welches von der Welle getroffen wird, bewegt sich in der Zeit, binnen welcher der ganze Wellenzug, die verdichtende und verdünnende Welle, an ihm vorüber geht, einmal hin und zurück. Und hieraus folgt denn, mit Rücksicht auf den vorhergehenden Satz, daß die Theilchen eines Körpers, durch welchen sich Schallwellen fortpflanzen, ebenso oft hin und her geben, als die Theilchen des tönenden Körpers, während er die Schallwellen erregt.

Die Schallschwingungen pflanzen sich nun am vollkommensten in durchweg gleichartigen Medien fort, wie sich denn auch die Schwingungen eines selbsttönenden Körpers am vollkommensten solchen Körpern mittheilen, die ihm gleichartig sind. So theilen sich die tönenden Schwingungen fester Körper am besten anderen diesen gleichartigen Körpern mit, während tönende Luft ihre Schwingungen am vollkommensten der Luft mittheilt. Die Schwingungen fester tönender Körper werden aber der Luft leichter mitgetheilt, wenn die Töne sehr hoch, als wenn sie tief sind. Die Gebrüder Weber ***) erläutern dies mittelst der gebräuchlichen Stimmungabeln. Dieselben bringen angeschlagen einen doppelten Ton hervor;

*) Pogg. Ann. Bd. LXVI. S. 321. Nederlandsch Muzykaal Tydschrift Caecilia, vom 1. April, 15. Juli und 1. August 1845.

**) Ueber eine bei jeder Rotation des Fortpflanzungsmittels eintretende eigenthümliche Ablenkung der Licht- und Schallstrahlen u. Prag 1844. — Drei Abhandlungen aus dem Gebiete der Wellenlehre. Prag 1846. — Ueber den Einfluß der Bewegung des Fortpflanzungsmittels auf die Erscheinungen der Aether-, Luft- und Wasserwellen. Prag 1847.

***) Wellenlehre S. 530 ff.

theils einen tieferen, der schon in einer geringen Entfernung von der in der Hand gehaltenen Stimmgabel nicht mehr wahrnehmbar ist, obschon derselbe, wenn man die Stimmgabel näher ans Ohr hält, stark und voll vernommen wird, — und theils einen viel höheren, der besonders im Augenblick des Anschlagens selbst bis zu einer beträchtlichen Entfernung vernommen werden kann, und auch noch längere Zeit schwach fort tönt. Jener tiefe Ton wird nun beträchtlich verstärkt, wenn man die angeschlagene Stimmgabel auf eine große Holzplatte stemmt. Vom Stiele der Stimmgabel gehen dann Wellen aus, die sich auf der Holzplatte ausbreiten. Indem sich nun die Schwingungen einer Stimmgabel einer Holzplatte stärker als der Luft mittheilen, werden die Theilchen des Holzes, die sich bei der Fortpflanzung des Schalles hin und her bewegen, Schwingungen von gleicher Dauer in der Luft erregen, und dazu beitragen, daß der Luft die Schwingung vollkommener mitgetheilt werde. Die Mittheilung der Schwingungen wird begünstigt, wenn eine große Zahl von Lufttheilchen durch den festen schwingenden Körper gestoßen wird, d. h. wenn die schwingende Fläche des tönenden oder in Schwingung versetzten festen Körpers sehr groß ist. Hierauf beruht nun die Verstärkung eines Tones durch Resonanz. Dagegen wird der hohe Ton der Stimmgabel auf diese Weise nicht merklich verstärkt; er wird auch ohne Resonanz weiter gehört, als der tiefe an sich stärkere Ton. Wenn nämlich ein und dasselbe Lufttheilchen in einer gegebenen Zeit viel Stöße von einem schwingenden Körper erhält, wie dies bei einem hohen Tone der Fall ist, so werden ihm die Schwingungen leichter mitgetheilt, als wenn es in derselben Zeit wenig Stöße erhält.

Die Resonanz, wie sie oben charakterisirt ist, führt übrigens zu keiner positiven Verstärkung des Tones; der letztere kann höchstens die Stärke erhalten, die der fortgepflanzte Ton in einem dem klingenden Körper gleichartigen Medio haben würde.

Eine zweite Art der Resonanz unterscheidet sich, nach den Untersuchungen der Gebrüder Weber *) von der angeführten dadurch, daß ein begrenzter Körper durch einen tönenden in so heftige Schwingungen versetzt wird, als er auch bei der vollkommensten Mittheilung, wenn er unbegrenzt wäre, nicht vollbringen könnte, insofern nämlich die Schallwellen, die dem begrenzten Körper mitgetheilt werden, von dessen Rändern oder Grenzen zurückgeworfen werden, und sich mit einander, und mit den von dem tönenden Körper fortwährend ausgehenden Schallwellen durchkreuzen. Wenn nun die nachfolgenden Wellen ebenso verlaufen wie die vorhergegangenen, und wenn sie von den Schwingungen eines und desselben Tones herrühren, so müssen sich auch an allen Kreuzungsstellen die Durchkreuzungen regelmäßig und in gleichen Zeiträumen wiederholen. Und das Resultat ist, daß die ganze Bewegung der einzelnen Theilchen dieses Körpers sich durch nichts von der des selbsttönenden Körpers unterscheidet, als dadurch, daß sie nie ganz so heftig ist als diese, und daß dieselbe, so wie keine Wellen mehr nachfolgen, also die Durchkreuzung aufhört, auch sogleich geendigt ist, während sie in den Körpern, die in eine stehende Schwingung gerathen, fort dauern kann, wenn auch die erste Ursache des Tönens aufgehört hat.

Bei einem selbsttönenden Körper muß der ganze Raum desselben von gleich langen, sich zwei- oder mehrfach durchkreuzenden Wellen eingenommen sein, die

*) Wellenlehre S. 535 ff.

in Folge der Gestalt des Körpers so zurückgeworfen werden, daß die Kreuzungspunkte auch nach einer vielfachen Zurückwerfung immer nach gleichen Zeiträumen auf dieselben Punkte fallen. Der Raum eines resonirenden Körpers braucht dagegen nur von gleich langen zurückgeworfenen Wellen bedeckt zu sein, die sich mit den immer neu, aber auf dieselbe Weise, erregten Wellen so durchkreuzen, daß die Kreuzungspunkte, so lange die Erregung von neuen Wellen dauert, immer auf dieselben Punkte fallen.

Hieraus folgt denn *), 1) daß die Wellen forttönender Körper eine Länge haben müssen, die ein aliquoter Theil des Weges ist, den die Welle von einer zurückwerfenden Grenze des Körpers zur anderen zu durchlaufen hat. Dies ist bei Körpern, die zur Resonanz fähig sein sollen, nicht nöthig; 2) daß bei forttönenden Körpern jede Welle einen Weg durchläuft, vermöge dessen sie nach einer oder mehreren Zurückwerfungen in ihren vorigen Weg zurückkehrt, was bei der Resonanz nicht der Fall ist; 3) daß die Stärke des Tones bei einem forttönenden Körper wachsen kann, während die Erregung der Schwingungen gleichmäßig fort-dauert, z. B. während der Violinbogen fortfährt zu streichen, der Ton bis zu einem gewissen Punkte anwächst, weil nämlich die mehrfach zurückgeworfenen Wellen immer in die ursprüngliche Lage zurückkehren, und daselbst durch neu erregte Wellen verstärkt werden, was bei resonirenden Körpern nicht der Fall ist; 4) daß der tönende Körper durch Stöße zum Schwingen gebracht wird, die nicht so regelmäßig und geschwind zu erfolgen brauchen, daß sie selbst einen Ton bilden; so daß nicht der Inbegriff der empfangenen und fortgepflanzten Stöße den Ton des tönenden Körpers bildet, da nur eine gewisse Ordnung regelmäßig auf einander folgender Stöße nöthig ist, um einen Körper zum Tönen zu bringen, auch wenn die Stöße viel langsamer auf einander folgen, als die Schwingungen des dadurch zum Tönen gebrachten Körpers. Dagegen muß der resonirende Körper, wenn er tönen soll, so regelmäßige Stöße bekommen, daß diese Stöße selbst schon einen Ton bilden, daher ein resonirender Körper nur den Ton wiederholen kann, den der tönende Körper hervorbringt, der ihm Schwingungen mittheilt.

Ueber die Mittheilungen der Schwingungen hat Savart **) eine Reihe belehrender Versuche angestellt.

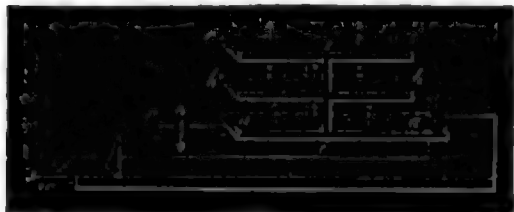
Zwei runde elastische Scheiben von gleichen Dimensionen und sonst gleicher Beschaffenheit seien durch einen in ihren Mitten und senkrecht auf ihren Ebenen befestigten Stab mit einander verbunden. Man halte das Ganze so, daß die Scheiben eine horizontale Lage erhalten und bestreue sie mit trockenem, feinem Sand. Versetzt man nun eine dieser Scheiben durch Streichen mit einem Violinbogen in transversale Schwingungen, so erzeugt sich mittelst des Stabes auch in der anderen Scheibe dieselbe Schwingungsart, da der aufgestreute Sand Knotenlinien verräth, welche denen der unmittelbar erschütterten Scheibe entsprechen. Die Transversalschwingungen dieser Scheibe geschehen im Sinne der Länge des auf ihr senkrechten Stabes, daher denn dieser von der Scheibe aus in Längenschwingungen versetzt wird, die bezüglich der Scheibe in der Richtung von deren Dicke stattfinden und deshalb die Theilchen der anderen Scheibe in Transversalschwingungen versetzen müssen. Bringt man einen dünnen Stab aus Holz in

*) Weber, Wellenlehre S. 338.

**) Ann. de Chim. et Phys. T. XXV.

Längenschwingungen, so geräth eine in ihrer Mitte an den Stab befestigte Scheibe in Transversalschwingungen.

Es stehe ferner mit einem länglichen, dünnen Holzplättchen *aa* (oder einem ähnlich gestalteten dünnen Glas- oder Metallplättchen), das an einem Ende fest eingeklemmt ist (s. beistehende Figur), eine Saite *e* in Verbindung, die bei *s* durch



einen Schlüssel mehr oder weniger gespannt werden kann. Streicht man nun die Saite mit einem Violinbogen unter verschiedenen Neigungen gegen die Oberfläche des Plättchens, so geräth auch das letztere in Schwingungen, deren Natur aus den Knotenlinien, welche aufgestreuter Sand bildet, geschlossen

werden kann. Wird die Saite parallel mit der Oberfläche des Plättchens dergestalt gestrichen, daß sie in longitudinale Schwingungen geräth, so zeigt die Bewegung des Sandes auf dem Plättchen, daß auch die Theilchen des letzteren im longitudinalen Sinne schwingen. Mit der Neigung des Bogens ändert sich die Gestalt der Knotenlinien, und es läßt sich erkennen, daß die Theilchen des Plättchens dieselbe Bewegung annehmen können, welche den Theilchen der Saite zukömmt.

Sind mehrere dünne Holzplatten *aa*, *bb*, *cc* durch senkrechte Platten *ii* fest mit einander verbunden (s. obige Figur), und streicht man die Saite senkrecht gegen die Oberfläche der Platten, so bemerkt man aus der Bewegung des Sandes, daß die Theilchen aller Platten in derselben Richtung schwingen, nämlich die der horizontalen Platten transversal und die der senkrechten longitudinal. Kurz, die Bahnen aller Theilchen des ganzen schwingenden Systems scheinen eine parallele Richtung zu haben.

Wir erwähnen hier einer Erscheinung, die *Wheatstone**) mit dem Namen Polarisation des Schalles bezeichnete, und die in nächster Beziehung mit dem Umstande steht, daß die transversale Schwingung eines tönenden festen Körpers sich einem anderen flächenförmigen Körper durch einen zwischen beide Körper gebrachten Stab desto schwächer mittheilt, je mehr die durch den verbindenden Stab fortschreitende Schallwelle eine Bewegung der Theilchen mit sich führt, deren Richtung auf der Richtung der Welle senkrecht ist. Je öfter und bedeutender die Richtung, in welcher die Theilchen schwingen, wechselt, desto mehr wird die Mittheilung des Tones gehemmt**). Wird nun z. B. eine Stimmgabel mit ihrem Stiele rechtwinklig auf das Ende eines langen, geraden Drahtes (oder Stabes) gestellt, der auf einem Resonanzboden steht, so werden die Schwingungen derselben durch den Draht dem Boden leicht mitgetheilt, falls die Zinken der Gabel mit der Ase des Drahtes in einerlei Ebene liegen, nicht aber, wenn die Ase des Drahtes auf der Ebene der Zinken senkrecht steht. Beim allmäligen Drehen der Stimmgabel aus einer Lage in die andere, nimmt der Ton während einer vollen Umdrehung zweimal ab und ebenso oft zu. Liegt man Draht in dem Augenblick, wo die auf demselben stehende Gabel am stärksten tönt, so nimmt die Ton-

*) Ann. of Philosophy New series. No. XXXII. 1823. P. 81. Ann. de Chim. et Phys. T. XXIII. p. 313. Schweigg. Journ. XLVII. S. 108.

**) Weber, Wellenlehre S. 551.

stärke ab, und ist am geringsten, wenn der Draht unter einem rechten Winkel gebogen ist; hierauf nimmt sie beim ferneren Biegen des Drahtes wieder zu und erreicht ihr Maximum, sobald beide Drahtstücke wieder parallel sind. Indessen muß man, nach den Bemerkungen der Gebrüder Weber*), eine doppelte Art, wie die Stimmgabeln einem Körper, den sie berühren, Schwingungen mittheilen können, unterscheiden. Theils kann es nämlich geschehen durch sehr feine Erzitterungen der einzelnen Theilchen des Stiels der Stimmgabel, die immer parallel zu den Schwingungen der Zinken der Stimmgabel stattfinden, und theils auch durch eine Bewegung, die dem ganzen Stiele abwechselnd nach aufwärts und abwärts mitgetheilt wird. In Folge dieser Bewegung hüpfst die Stimmgabel gewissermaßen auf einer Platte, auf die ihr Stiel senkrecht gestemmt wird. Die von Wheatstone hervorgehobene Erscheinung bezieht sich aber auf die erstere Art der Bewegung, indem der Ton durch die den Zinken parallelen feinen Schwingungen fortgepflanzt wird. Haben beide Mittheilungsarten Einfluß, so ist die Mittheilung des Schalles am stärksten. Diesen Fall zeigt nebenstehende Figur, wo die kleinen Pfeile die Bewegung der Theilchen, der große Pfeil den Fortschritt der Welle anzeigen.



Auch die resonirenden (mittönenden) Körper können Knotenpunkte und Knotenlinien haben. Man nennt dieselben, zur Unterscheidung von den Chladni'schen Klangfiguren oder den Knotenlinien selbsttönender Körper, Knotenlinien oder Klangfiguren der Resonanz, oder wohl auch schlecht-hin Resonanzfiguren. Diese beide Arten von Figuren unterscheiden sich wesentlich von einander, und zwar auf folgende Weise. 1) Die Chladni'schen Knotenlinien liegen immer symmetrisch, die Knotenlinien der Resonanz können auch ganz unsymmetrisch liegen; 2) die Zwischenräume zwischen den Chladni'schen Knotenlinien sind aliquote Theile des Raumes von einem Rande eines tönenden Körpers zum anderen, was bei den Resonanzfiguren nicht stattfindet; 3) bei den Chladni'schen Klangfiguren nimmt die Höhe des Tones bekanntlich mit der Anzahl der Knotenlinien zu, während sich bei den Resonanzfiguren dieses Verhältniß nicht zeigt.

Wenn der resonirende Körper sehr regelmäßig ist, z. B. eine Scheibe, der die Schwingungen in ihrer Mitte mitgetheilt werden, so können die Knotenlinien der Resonanz auch symmetrisch sein; es entsteht aber kein Selbsttönen, wenn die Zwischenräume zwischen den Knotenlinien nicht solche aliquote Theile der Scheibe sind, daß die Wellen, nachdem sie einen gewissen Weg zurückgelegt haben, bald in ihren vorigen Weg zurücklaufen, und dann den schon einmal gemachten Weg noch einmal wiederholen. Hiernach können auch die Knotenlinien der Resonanz unsymmetrisch sein, ohne daß dies aber nothwendig ist**).

Doch kann ein tönender Körper einen anderen auch zum wirklichen Selbsttönen bringen, wobei es denn auch möglich ist, daß ein solcher zum Tönen gebrachte Körper einen Ton giebt, der von dem des ursprünglich tönenden Körpers verschieden ist. In diesem Falle findet aber keine eigentliche Resonanz statt. Es ist bekannt, daß namentlich gespannte Saiten sehr leicht auf die eben bezeichnete Weise zum Selbsttönen gebracht werden können. Ein mittönender Körper ver-

*) Wellenlehre S. 352.

**) Weber's Wellenlehre S. 341 ff.

mag aber nur solche Töne zu begleiten, die er selbst geben kann oder deren Schwingungen ein aliquoter Theil von jenen sind, die in ihm selbst vorgehen können.

Auch die von festen Körpern umschlossene Luft ist resonanzfähig. Ein bekanntes hierher gehöriges Beispiel ist die Verstärkung des Tones einer angeschlagenen Stimmgabel, wenn man diese vor die Oeffnung einer Röhre hält, ohne die letztere zu berühren. Hierher gehört denn auch die in den Resonanzböden gewisser musikalischer Instrumente eingeschlossene Luft, deren Gestalt sowohl als auch die Lage der Oeffnungen des Resonanzbodens von Bedeutung ist. Glocken tönen stärker als Scheiben, weil die in jenen enthaltene Luft zum Mitönen gebracht wird.

In festen Körpern verlaufen die Wellen sehr schnell. Daher fällt in ihnen die Resonanz fast sofort weg, sobald in ihnen vom tönenden Körper keine Wellen mehr erregt werden. Dagegen werden mit Luft erfüllte große Räume noch so lange zu resoniren fortfahren, bis die Schallwellen ihren Lauf so weit fortgesetzt haben, daß die Durchkreuzungen an bestimmten Stellen aufhören. Denn die Resonanz dauert so lange, als noch der ursprünglich erregte Wellenzug an bestimmten Stellen Durchkreuzungen bildet.

Bei einem Gebäude, das zur Aufführung von Musikstücken vorzüglich geeignet sein soll, ist es, nach den Erörterungen der Gebrüder Weber *), erforderlich, daß die Zurückwerfung des Schalles so vollkommen als möglich geschehe. Wände, Fußboden und Decke, die selbst durch die Schallwellen in Erzitterung gerathen, und diese Erzitterungen dem übrigen Gebälk und Gemäuer des Gebäudes mittheilen, dämpfen den Schall, indem sie einen Theil der anprallenden Schallwellen, den sie zurückwerfen sollten, verschlucken. Hat ein Saal viele Säulen und Pfeiler, oder überhaupt viele Vorsprünge und scharfe Ecken, so wird jede Schallwelle beim Anprallen in viele kleine zerspalten, und die Durchkreuzung großer Wellen, die eine Hauptbedingung der Resonanz ist, gehindert. Eine Stube, aus der alles Geräthe herausgeräumt ist, resonirt besser, als zur Zeit, wo es noch darin war. Sodann kommt es noch darauf an, daß die zurückgeworfenen Wellenstücke, so viel als immer möglich geradlinig bleiben, und daß die Punkte, wo die vorzüglichsten Durchkreuzungen der Schallwellen geschehen, ziemlich gleichförmig durch den ganzen Saal vertheilt sind, daß sie aber auch nicht so liegen, daß für gewisse Töne eine stehende Schwingung auftreten kann. Es ist sehr wohl möglich, daß einige Stellen eines Saales stark resoniren, andere ganz schwach. Ein Fehler, der in Concertsälen sehr zu vermeiden ist, liegt darin, daß kleine und regelmäßige Räume, wenn ein gewisser Ton angegeben wird, selbst zu tönen anfangen, und daher diesen Ton ausnehmend verstärken. — Da die Resonanz vorzüglich durch die Durchkreuzung der ursprünglichen und reflectirten Wellen bestimmt wird, so hat auch die Gestalt und Neigung der Wand, die hinter und ist, Einfluß.

A. Seebeck **) suchte zu bestimmen, wie die Schwingungen eines Körpers abgeändert werden, erstens unter dem Einflusse des Luftwiderstandes, der eine

*) Wellenlehre S. 543.

**) Pogg. Ann. Bd. LXII. S. 280.

Kraft ist, welche von der Geschwindigkeit des schwingenden Körpers abhängt, und zweitens unter dem gleichzeitigen Einflusse einer veränderlichen Kraft, welche eine Function der Zeit ist. Dies läßt dann eine Anwendung auf das Mittönen zu. Der Einfachheit wegen wird angenommen, daß die Theile der Masse sich nicht in einer relativen Bewegung gegen einander befinden, sondern die ganze absolut feste Masse durch eine außer ihr liegende, der Ablenkung proportionale Kraft in Schwingung erhalten werde. Der schwingende Körper wird in Form einer ebenen Platte gedacht, deren Oberfläche auf jeder Seite $= f$, und die Bewegung rechtwinklig gegen diese Oberflächen.

Der Luftwiderstand läßt sich nun dadurch entstehend denken, daß der bewegte Körper immer neue Lufttheile mit in Bewegung setzen muß. Die hierauf verwandelte Kraft kann man bei geringen Geschwindigkeiten dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional setzen, und ist in hinreichender Annäherung $= \frac{\rho f v^2 \gamma}{g}$,

wo g das Gewicht einer Masseneinheit Luft, v die Geschwindigkeit des Körpers, und ρ einen Erfahrungscoefficienten bezeichnet, welcher für eine Platte nahe $= 1$ gesetzt wird.

Diese Kraft ist jedoch nur klein gegen einen anderen Einfluß, welchen die Anwesenheit der Luft bedingt. Der schwingende Körper erzeugt nämlich vor sich eine Verdichtungs-, hinter sich eine Verdünnungswelle, und ist deshalb einem ungleichen Drucke von beiden Seiten her ausgesetzt. Der Unterschied dieser Druckkräfte ist als eine Kraft *) anzusehen, welche der Bewegung entgegenwirkt.

*) Die Größe dieser Kraft läßt sich nach Seebeck folgendermaßen bestimmen. Nach der Theorie der Fortpflanzung des Schalles ist in einer Welle die Aenderung der Dichtigkeit der Luft für sehr kleine Schwingungen $= \frac{v}{c}$, wenn v die Geschwindigkeit des Lufttheilchens und c die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles bezeichnet. v ist zugleich die Geschwindigkeit der schwingenden Platte, da die mit der letzteren in Berührung stehenden Lufttheilchen dieselbe Geschwindigkeit haben müssen, wie sie selbst. Bezeichnet nun B den Druck der Luft auf eine Flächeneinheit im Zustande der Ruhe, so wird im Zustande der Schwingung auf die vordere Seite der Platte der Druck $Bf \left(1 + \frac{v}{c}\right)$ und auf die hintere Seite der Druck $Bf \left(1 - \frac{v}{c}\right)$ ausgeübt. Der Unterschied beider giebt die der Bewegung entgegengesetzte Kraft $= 2 Bf \frac{v}{c}$. Dieser Werth ist aber, wegen der Kleinheit von v , viel größer, als die oben aufgestellte $\frac{\rho f v^2 \gamma}{g}$, den man gegen jenen vernachlässigen kann, so daß die von der Luft ausgeübte Kraft $= - 2 Bf \frac{v}{c}$ zu setzen ist.

Man habe nun eine Masse M , welche, um die Länge x von ihrem Orte entfernt, durch eine Kraft $= Ex$ nach demselben zurückgeführt wird. Ist E constant, so daß die Kraft der jedesmaligen Ablenkung proportional ist, und als eine Folge der Elasticität angesehen werden kann, so hat man, wenn das Gleichgewicht dadurch gestört worden, daß man jener Masse eine gewisse Ablenkung und Geschwindigkeit ertheilt hat, zur Bestimmung der entstehenden Bewegung die Gleichung: $\frac{d^2 x}{dt^2} = - \frac{Ex}{M}$, und hieraus $x = a \sin \left(t \sqrt{\frac{E}{M}} + \tau \right)$, wo x die Ablenkung

Seebeck fand nun, daß, wenn der Körper, einmal in Schwingung versetzt, dem Luftwiderstande überlassen wird, sich die Amplitude (Schwingungswerte)

zur Zeit t bezeichnet, und die Constanten α und τ durch die ursprüngliche Störung des Gleichgewichts bestimmt sind. Setzt man $\frac{E}{M} = n^2$, so ist $x = \alpha \sin (nt + \tau)$, wo n die Anzahl der Schwingungen in der Zeit 2π bedeutet.

Wirkt aber zur Zeit t außer der Kraft $-Ex$ noch die oben charakterisirte Kraft $-2Bf\frac{v}{c}$ mit, so hat man die Gleichung $\frac{d^2x}{dt^2} = -Ex - \frac{2Bfv}{Mc}$, oder, wenn man, zur Abkürzung, $\frac{E}{M} = n^2$ und $\frac{Bf}{Mc} = b$ setzt und für v seinen Werth $\frac{dx}{dt}$ einführt, $d^2x + 2b dx dt + n^2 x dt^2 = 0$.

Das vollständige Integral dieser Gleichung ist

$$x = e^{-bt} (Ce^{rt\sqrt{-1}} + De^{-rt\sqrt{-1}}),$$

wo $r = \sqrt{n^2 - b^2}$ ist.

Ist $b^2 < n^2$, also r reell, so giebt dies $x = e^{-bt} (C' \cos rt + D' \sin rt)$, wo die Constanten C' und D' durch die ursprüngliche Störung bestimmt werden.

Ist zur Zeit $t = 0$, $x = 0$ und $\frac{v}{r} = \alpha$, so wird $C' = 0$, $D' = \alpha$, und man erhält $x = e^{-bt} \alpha \sin rt$.

Hiernach nimmt die Amplitude, ursprünglich α , in geometrischer Progression ab, wenn die Zeit arithmetisch zunimmt, z. B. von einer Schwingung zur anderen. Ferner ist die Schwingungsmenge $r = \sqrt{n^2 - b^2}$ kleiner, als im leeren Raume. Beide Einflüsse sind um so beträchtlicher, je größer $b = \frac{Bf}{Mc}$, also besonders je größer und leichter die Platte ist, bei einerlei n . Auch Druck und Temperatur der Luft (ersterer wegen B , letzterer wegen c) kommen für die Größe jener Einflüsse in Betracht, welche um so stärker werden, je größer der Luftdruck und je niedriger die Temperatur.

Bezeichnet V den veränderlichen oder auch constanten Werth einer von der Bewegung unabhängigen Kraft, welche von einem gewissen Zeitpunkte an fortwährend auf die Masse M wirkt, und zwar rechtwinklig gegen die Platte, während sonst die Elasticität $-Ex$ und der Luftwiderstand $-2Bf\frac{v}{c}$, wie bisher, bleiben, so ist $\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{Ex}{M} - \frac{2Bfv}{Mc} + \frac{V}{M}$, oder durch Einführung der obigen Abkürzungen, $d^2x + 2b dx dt + n^2 x dt^2 = \frac{V}{M} dt^2$.

Aus dieser Gleichung folgt

$$x = \frac{1}{2Mr\sqrt{-1}} (e^{-(b-r\sqrt{-1})t} \int e^{(b-r\sqrt{-1})t} V dt - e^{-(b+r\sqrt{-1})t} \int e^{(b+r\sqrt{-1})t} V dt).$$

Die Kraft V ist eine Function der Zeit; wird sie durch eine Sinusreihe dargestellt, so kann die Integration vollzogen werden.

Ist $V = A \cos (mt + \tau)$, so erhält man aus der zuvor aufgestellten Gleichung

$$x = \frac{A}{M} \frac{(n^2 - m^2) \cos (mt + \tau) + 2bm \sin (mt + \tau)}{(n^2 - m^2)^2 + 4b^2 m^2} + e^{-bt} (Ce^{rt\sqrt{-1}} + De^{-rt\sqrt{-1}}).$$

Setzt man abkürzend $\frac{A}{M \sqrt{(n^2 - m^2)^2 + 4b^2 m^2}} = \alpha$ und $\frac{n^2 - m^2}{2bm} = \tan (\Theta - t)$,

so wird $x = \alpha \sin (mt + \Theta) + e^{-bt} (Ce^{rt\sqrt{-1}} + De^{-rt\sqrt{-1}})$, $v = \frac{dx}{dt} = \alpha m \cos (mt + \Theta) - e^{-bt} (C(b-r\sqrt{-1})e^{rt\sqrt{-1}} + D(b+r\sqrt{-1})e^{-rt\sqrt{-1}}).$

der Schwingungen bei gleichen Zeiträumen in geometrischer Progression vermindert. Die Schwingungen des Körpers sind auch bei Luftwiderstand langsamer als im

Zur Bestimmung der Konstanten C und D hat man, wenn t von dem Zeitpunkte an gerechnet wird, wo die Platte zuerst von der Kraft V getroffen wird, und wenn jene vorher noch keine Bewegung hatte, für $t = 0$ sowohl $x = 0$ als $v = 0$, wodurch

$$C = -\frac{\alpha}{2r\sqrt{-1}} (m \cos \Theta + (b + r\sqrt{-1}) \sin \Theta)$$

$$D = \frac{\alpha}{2r\sqrt{-1}} (m \cos \Theta + (b - r\sqrt{-1}) \sin \Theta),$$

und daher

$$x = \alpha \sin (mt + \Theta) - e^{-bt} \alpha \left(\frac{b \sin \Theta + m \cos \Theta}{r} \sin rt + \sin \Theta \cos rt \right). \quad (K)$$

Seebeck setzt noch allgemeiner $V = A_0 + A_1 \cos (m_1 t + \Theta_1) + A_2 \cos (m_2 t + \Theta_2) + \dots$

Dann ist $x = \alpha_0 + \alpha_1 \sin (m_1 t + \Theta_1) + \alpha_2 \sin (m_2 t + \Theta_2) + \dots$

$$+ e^{-bt} [b\alpha_0 + b\alpha_1 \sin \Theta_1 + b\alpha_2 \sin \Theta_2 + \dots]$$

$$+ \alpha_1 m_1 \cos \Theta_1 + \alpha_2 m_2 \cos \Theta_2 + \dots \left. \vphantom{\frac{\sin rt}{r}} \right\} \frac{\sin rt}{r}$$

$$+ (\alpha_0 + \alpha_1 \sin \Theta_1 + \alpha_2 \sin \Theta_2 + \dots) \cos rt,$$

wo $\alpha_0 = \frac{A_0}{Mn^2} = \frac{A_0}{E}$ ist.

Bezeichnet man die Sinus- und Cosinussummen durch das Summenzeichen, so ist

$$\left. \begin{aligned} x &= \alpha_0 + \sum \alpha \sin (mt + \Theta) \\ &- e^{-bt} \left(\frac{(b\alpha_0 + b \sum \alpha \sin \Theta + \sum \alpha m \cos \Theta)}{r} \sin rt \right. \\ &\left. + (\alpha_0 + \sum \alpha \sin \Theta) \cos rt \right) \end{aligned} \right\}$$

Ist die Kraft V constant, so hat man $A_1 = A_2 = \dots = 0$ zu setzen, so daß $V = A_0$ wird. Es ist dann $x = \frac{A_0}{E} + e^{-bt} \frac{A_0}{E} \cos rt$.

Diese Gleichung charakterisirt eine schwingende Bewegung von der Schwingungsmenge $r = \sqrt{n^2 - b^2}$. Es verhält sich also hier, wie in dem oben entwickelten Falle. Die Amplitude, anfänglich $= \frac{A_0}{E}$, vermindert sich, wegen des Factors e^{-bt} , in geometrischer Progression. Das constante Glied aber zeigt, daß die Gleichgewichtslage, welche die Mitte der Schwingungsbahn bildet, durch die Wirkung der constanten Kraft um die Länge $\frac{A_0}{E}$ von

der ursprünglichen Gleichgewichtslage entfernt ist. Die Schwingungen der Platte unter Einwirkung einer constanten Kraft unterscheiden sich also von denen, welche durch bloßes Anstoßen hervorgebracht werden, nur durch diese Verlegung des Gleichgewichtsortes. Zu einem ähnlichen Resultate gelangte, nach einer Bemerkung von Seebeck, Duhamel*) für Saiten, welche unter der Einwirkung constanten Kräfte stehen.

Wird die Platte von dem Wellenzuge eines tönenden Körpers getroffen, so kann sie durch den auf sie ausgeübten Druck in eine schwingende Bewegung versetzt und zum Mittönen gebracht werden. Gestützt auf die vorstehenden Entwicklungen hat Seebeck**) diesen Fall näher behandelt. Bezeichnet u die Geschwindigkeit der auf einer Wellenfläche liegenden Punkte an irgend einer Stelle des Wellenzuges, und ist $u = a \sin (mt + r)$, so daß die Schwingungsmenge des einwirkenden Tones in der Zeit 2π gleich m und die Amplitude $= a$, so kann die Bewegung der Platte nach der oben mit (k) bezeichneten Gleichung bestimmt werden,

*) L'Institut, 1830. p. 386; 1840. p. 190.

**) M. a. D. S. 297.

leeren Raume; und beide Einflüsse sind um so beträchtlicher, je mehr der Körper zu einer dünnen Fläche ausgebreitet ist, auch je stärker der Druck und je niedriger die Temperatur der Luft ist.

Wirkt auf den Körper eine constante Kraft, so unterscheiden sich die Schwingungen von denen, welche durch einmaligen Anstoß hervorgerufen werden, weder in ihrer Menge, noch in ihrer Form, noch in der Verminderung der Bewegung durch den Luftwiderstand, sondern nur darin, daß die Gleichgewichtslage oder die Mitte der Schwingungsbahn verändert ist (s. die Anmerkung).

Wirkt auf den Körper eine periodische Kraft, so ist seine Bewegung im leeren Raume aus zwei Perioden zusammengesetzt, deren eine gleich der der Kraft, die andere gleich der, welche der eigenen Schwingungsmenge des Körpers zukommt.

Bei gleichzeitiger Einwirkung des Luftwiderstandes findet anfangs dasselbe angenähert statt; zuletzt bleibt aber nur eine Bewegung übrig, deren Periode gleich der der Kraft ist.

indem man statt $\frac{A}{M}$ den Werth $\frac{2B\delta am}{Mc} = 2bam$ setzt, wodurch $\alpha = \frac{2bam}{\sqrt{(n^2 - m^2)^2 + 4b^2m^2}}$ wird. Dieser Werth von α ist in die Gleichung (k) einzuführen. Das erste Glied dieser Gleichung bezeichnet dann eine Bewegung von der Periode des ursprünglich tönenden Körpers, das zweite, abgesehen von dem Factor e^{-bt} , eine Bewegung von der Periode, in welcher die Platte für sich bei Luftwiderstand schwingen würde. Die Bewegung der letzteren, wenn sie, durch den Wellenzug erregt, miltönt, kann daher anfangs, indem man für eine ziemlich kurze Zeit e^{-bt} angenähert als constant betrachtet, als aus diesen beiden Perioden zusammengesetzt angesehen werden. Da aber das zweite Glied, wegen des Factors e^{-bt} beständig abnimmt und endlich unmerklich wird, so geht die Bewegung nach einiger Zeit in Schwingungen von der Periode des ursprünglichen Tones über, was um so schneller geschehen wird, je größer b , also besonders je größer $\frac{f}{M}$, auch je größer B und je kleiner c ist. — Sind so die Schwingungen des miltönenden Körpers denen des ursprünglich tönenden isochronisch geworden, so ist die Amplitude der ersteren $\alpha = \frac{2bam}{\sqrt{(n^2 - m^2)^2 + 4b^2m^2}}$.

Dieser Werth wird, bei einerlei Werth von b , s und m , desto größer, je kleiner $(n^2 - m^2)$ ist, d. h. je weniger die Schwingungsmenge, welche der miltönende Körper für sich und ohne Luftwiderstand haben würde, von der Schwingungsmenge des ursprünglich tönenden Körpers verschieden ist. Ist b viel kleiner als n , wie dies bei einem Körper, der auch selbsttönend auftreten kann, jederzeit der Fall ist, so wird α stets sehr klein, außer wenn n und m nur wenig von einander verschieden sind. Ein solcher Körper kann daher nur dann merklich miltönen, wenn sein eigener Ton von dem der erregenden Wellen wenig verschieden ist. Ist dagegen b nicht sehr klein gegen n , indem der Körper eine dünne, leichte Fläche bildet, so kann α auch dann noch einen merklichen Werth behalten, falls n und m ziemlich verschieden sind. Ist $n = m$, so wird $\alpha = s$, d. h. die miltönende Platte schwingt gerade so, wie die Lufttheilchen schwingen würden, an deren Stelle sie gesetzt ist.

Wenn also eine Platte, deren eigene Schwingungsmenge n ist, von einem Wellenzuge von der Form $s \cos(mt + r)$ getroffen wird, so geht er stets nach einiger Zeit in eine Bewegung über, welche durch $\alpha \cos(mt + r)$ vorgestellt wird, wo die Amplitude (Schwingungswerte) α um so größer im Verhältniß zu s ist, je weniger m von n verschieden ist. — (Siehe d.) zieht nun noch aus der Formel für α folgenden Satz. Wirken auf die Platte zwei gleich starke Töne, so ist das miltönende von gleicher Intensität, falls der höhere Ton um das gleiche Tonintervall über dem Ton der Platte liegt, wie der tiefere unter demselben, z. B. wenn jener um eine Quarte höher, dieser um eine Quarte tiefer ist.

Sind jene beiden Perioden wenig verschieden, und die Kraft von der Form $A \cos (mt + \tau)$, so entsteht eine abwechselnd zu- oder abnehmende Schwingungsbewegung von beträchtlicher Stärke. Dies gilt für den leeren Raum, und anfänglich auch bei Luftwiderstand, falls dieser nicht zu stark ist.

Geht von einem tönenden Körper, dessen Schwingungen unabhängig von denen der Platte sind, ein Wellenzug aus und trifft dieser gegen jene Platte, so theilt er ihr durch den auf sie ausgeübten Druck eine Bewegung mit, wodurch sie zum Mittönen kommen kann. Nach den Ermittlungen von Seebeck (i. die Anmerkung) ist nun die Bewegung des mittönenden Körpers anfänglich aus der seiner eigenen Schwingungsmenge (in Luft) zukommenden Periode und der des ursprünglichen tönenden Körpers zusammengesetzt. Sie geht aber nach einiger Zeit in letztere Periode allein über; jedoch erstreckt sich diese Uebereinstimmung im Allgemeinen nur auf die Dauer der Periode, nicht auf die Schwingungsform (Zu- und Abnahme der Geschwindigkeit). Ist der erregende Wellenzug von der Form $a \cos (mt + \tau)$, so findet ein um so stärkeres Mittönen statt, je weniger die Periode dieses Werthes von der des mittönenden Körpers, wie er im leeren Raume schwingen würde, verschieden ist. Sind beide Perioden beträchtlich verschieden, so findet ein merkliches Mittönen nur bei Flächen statt, welche im Verhältniß zu ihrem Areal wenig Masse haben. Falls beide Perioden gleich sind, nimmt der mittönende Körper zuletzt ganz die Bewegung der Lufttheilchen an, an deren Stelle er gesetzt ist. Wenn der erregende Wellenzug aus mehreren Gliedern von der Form $a \cos (mt + \tau)$ zusammengesetzt ist, so gelten gleiche Folgerungen für die einzelnen Glieder dieses Werthes; namentlich macht der Körper nur die Bewegungen merklich mit, welche von seiner eigenen Periode nicht zu sehr verschieden sind. —

Die Wellenbewegung des elastischen Mediums, welches man Lichtäther nennt, ist in anderen Artikeln d. W., welche von den Lichterscheinungen handeln, betrachtet worden. Man vergleiche in dieser Beziehung die Art. Licht, Bd. IV. S. 520 ff., Art. Inflection, Bd. IV. S. 68 ff., Art. Interferenz, ebenda S. 97 und Art. Polarisation. Die im Art. Inflection S. 71 ff. aufgestellten Formeln haben zum Theil eine allgemeinere Bedeutung, nämlich für die Wellenbewegung eines elastischen Mediums überhaupt. Die allgemeinen Gleichungen für oscillatorische Bewegungen (in zwei an einander grenzenden elastischen Medien) hat neuerdings Stefan*) untersucht. —

Schließlich sei noch bemerkt, daß sich die Schallschwingungen auf verschiedene Weise veranschaulichen lassen.

Lissajous**) wählte hierzu die Lichtstrahlen, welche von schwingenden Körpern reflectirt werden. Derselbe hat sowohl graphisch als auch analytisch die Curven zur Darstellung gebracht, welche ein Lichtstrahl beschreibt, der an zwei Stimmgabeln, die in gegen einander senkrechten Ebenen schwingen, reflectirt wird.

Ein bequemerer Mittel zur Veranschaulichung der Schallwellen (stehender und fortschreitender Wellen) bieten die Stroboskopischen Scheiben (i. dies. Art. Bd. VI. S. 150.)

*) Pogg. Ann. Bd. CII. S. 365.

**) Ann. de Chim. et Phys. Sér. III. T. LI. p. 147. Compt. rend. T. XLIV. p. 727.

Neuerdings hat D. Schulz *), Orgelbauer zu Paulinzell in Thüringen, einen akustischen Wellenapparat nach dem Princip der Fessel'schen Licht-Wellenmaschine, deren wesentliche Einrichtung im Art. Polarisation des Lichtes, Bd. V. S. 434 beschrieben ist, construirt. Dieser Apparat soll die den Schall-schwingungen eigenthümlichen Erscheinungen mit gleicher Vollständigkeit veranschaulichen, wie jene Maschine es für die Lichtschwingungen leistet. Eigenthümlich ist demselben die Darstellung der longitudinalen Schwingungen neben den transversalen und die Nachbildung der stehenden Wellen. Man kann mit ihm veranschaulichen die Entstehung und Fortpflanzung einer einfachen Welle, die Interferenz der Wellen und stehende zusammengelegte Wellen mit festen und beweglichen Schwingungsknoten, zur Erklärung der sogenannten Aliquot-Töne neben dem Grundton.

Wendekreise, s. Sonnenwenden.

Wetter, Witterung ist die Gesamtheit aller zu einer gewissen Zeit in der Atmosphäre auftretenden Erscheinungen. Da man unter Wetter wohl auch Gewitter versteht, so verweisen wir in dieser Beziehung auf Art. Gewitter, Bd. III. S. 560. Böse Wetter oder schlagende Wetter nennt man die Ansammlungen von leichtem Kohlenwasserstoffgas in den Kohlenbergwerken, welche durch Vermischung mit der atmosphärischen Luft ein leicht explodirendes Gemenge geben. Vergl. Art. Kohlenstoff, Bd. IV. S. 310 und 311. In vorliegendem Artikel haben wir es mit dem Wetter nur in dem ersten, mit Witterung gleichbedeutendem Sinne zu thun.

Das Wetter ist, wie das Klima einer Gegend, von sehr mannichfaltigen und dem äußersten Wechsel unterworfenen Verhältnissen abhängig. Es kommen dabei in Betracht **): die Temperatur, die Feuchtigkeit, der Barometerstand, die Winde, die elektrische Spannung, die mehr oder mindere Durchsichtigkeit und Heiterkeit des Himmels und vielleicht noch manche andere Verhältnisse. Schon hieraus wird es klar sein, wie schwierig es sein muß, bestimmte Gesetze für das Wetter auch nur eines Ortes aufzustellen, zumal eine Störung des einen Verhältnisses auf alle anderen einen Einfluß ausübt und dadurch die Deutung erschwert wird. A. v. Humboldt sagt ganz wahr, daß man hierbei unwillkürlich an diejenigen Störungen erinnert werde, welche in den Himmelsräumen die nahen und besonders die kleinsten Weltkörper in ihrem Laufe erleiden. Wollte man nun ebenso das Wetter für eine kürzere oder längere Zeit voraus bestimmen, so würde man, — ebenso wie man den Stand eines Planeten zu einer bestimmten Zeit anzugeben vermag, weil man die allgemeinen Gesetze kennt, welche Kepler gefunden hat, und man die Störungen in Rechnungen zu nehmen weiß, welche modificirend eingreifen —, das allgemeine Gesetz für die Witterungsveränderungen zu ermitteln haben und an dem Resultate, welches nach demselben zu einer bestimmten Zeit zur Geltung kommen müßte, die Störungen in Betracht ziehen, welche dann gleichzeitig modificirend einwirken würden. Wären unsere Sinne so scharf und so großartig ausgebildet, daß wir nicht bloß die großartigsten, sondern auch die unzähligen kleineren von uns nicht einmal geahnten Vorgänge im Weltenraume

*) Pogg. Ann. Bd. C. S. 583.

**) v. Humboldt's Kosmos. Bd. I. S. 340.

— die es gewiß giebt — zu erblicken vermöchten, so würde unser Verstand wahrscheinlich durch die Menge des Gesehenen so verwirrt werden, daß wir jedenfalls auch noch nicht zu derjenigen astronomischen Erkenntniß gelangt sein würden, die wir gegenwärtig besitzen. Wegen der Unzugänglichkeit der Erscheinungen, die sich zu der Vervielfältigung und Complication der Störungen gesellt, wird daher — wie A. v. Humboldt (a. a. O. S. 366) sagt, die Witterungskunde ihr Heil und ihre Wurzel wohl zuerst in der heißen Zone suchen müssen: in jener glücklichen Region, wo stets dieselben Lüfte wehen, wo Ebbe und Fluth des atmosphärischen Druckes, wo der Gang der Hydrometeore, wo das Eintreten elektrischer Explosionen periodisch wiederkehrend sind. Diesen Gang hat die Naturforschung auf diesem Gebiete auch in Betreff der Windverhältnisse mit Glück eingeschlagen, und von den einfacheren Verhältnissen innerhalb der Tropen zu den außertropischen Regionen fortschreitend ist es auch gelungen, in diesen allerdings nur in allgemeinen Zügen die Norm aufzufinden, nach welcher hier die Winddrehungen erfolgen (s. Art. Wind). Da es in diesem Falle gelungen ist, so läßt sich erwarten, daß man auch in anderen Beziehungen das Gesetzmäßige ermitteln wird, und um so weniger darf man jetzt schon daran verzweifeln, da die Witterungskunde, die Meteorologie, so alt sie zu sein scheint, doch im Grunde eine der jüngsten Wissenschaften ist. Die Meteorognosie oder Meteoromantie, d. h. die Kunst, das Wetter vorherzusagen (s. Art. Meteorologie. Bd. IV. S. 1031) wird nur auf diesem Wege eine sichere Basis gewinnen. Oder sollte hier gar keine Gesetzmäßigkeit herrschen? Gewiß erfolgt auch hier Alles nach unabänderlichen Naturgesetzen und nicht durch fortwährend neue Offenbarungen der Alles regierenden Allmacht des Schöpfers, — dafür sprechen eben die einfacheren Verhältnisse in den Tropen —; nur ist das Wetter eine so complicirte Erscheinung, daß es noch lange Zeit bedürfen wird, alle Ursachen in ihrer speciellen Gesetzmäßigkeit zu erfassen und auf Zahl und Maß zu bringen. Das Wetter vorauszurechnen, vorauszubestimmen, vorauszusehen: darauf werden wir für jetzt noch verzichten müssen; zunächst wird es darauf ankommen, das gewesene oder das zur Zeit stattfindende Wetter aus den Verhältnissen, welche stattgefunden haben oder stattfinden, zu erklären und verstehen zu lernen.

Daß die Meteorologie eine noch junge Wissenschaft ist, geht daraus hervor, daß das Barometer erst 1643 durch Torricelli (s. Art. Barometer, Bd. I. S. 654) erfunden wurde, daß man also erst seitdem über die Verhältnisse des atmosphärischen Druckes Aufschluß erhalten hat; daß zweckmäßige Thermometer erst im 17. und genaue erst im 18. Jahrhunderte (s. Art. Thermometer, Bd. VI. S. 294) angefertigt wurden; daß erst 1805 Dalton die richtigen Principien ermittelte, nach welchen Hygrometer (s. Art. Hygrometer, Bd. III. S. 886) zu construiren sind; daß erst in der Mitte des 18. Jahrhunderts Franklin (s. Art. Drache, elektrischer, Bd. II. S. 546 und Art. Gewitter, Bd. III. S. 578) den Nachweis führte, daß Blitz und elektrischer Funke identisch seien u. Kann es da wohl Wunder nehmen, daß man über die Witterungsverhältnisse noch nicht zum Abschlusse gekommen ist? Macht es nicht vielmehr der Thätigkeit der Naturforscher alle Ehre, daß in so kurzer Zeit schon so viel Bestimmtes, so viel Gesetzmäßiges ermittelt worden ist? Das bisher Gewonnene ist äußerst ermutigend. Die vervollkommeneten Instrumente, die verbesserten Beob-

achtungsmethoden lassen für die Zukunft Erfreuliches erwarten und dazu rechnen wir besonders die meteorologischen Vereine, die nach einem gemeinsamen Plane arbeiten, — in Deutschland unter der Oberleitung des größten Meteorologen der Jetztzeit, nämlich unter der Dove's in Berlin, — und denen jetzt noch der elektrische Telegraph zu Hülfe kommt, indem auf der Sternwarte zu München, dergleichen in Paris aus den fernsten Gegenden: Petersburg, Constantinopel, Algier, Lissabon u. die meteorologischen Beobachtungen augenblicklich angemeldet werden.

Gegen wir somit für die Zukunft der Witterungskunde die aussichtsvollsten Hoffnungen, so dürfen wir an dieser Stelle doch auch nicht die Gegner verschweigen. Als solcher ist namentlich *Piot* in der Pariser Akademie am 31. December 1855 aufgetreten, indem er das Nutzlose meteorologischer Observatorien nachzuweisen suchte. Er äußerte sich insbesondere dahin. Die verschiedenartige Masse von naturwissenschaftlichen Kenntnissen, welche man heutzutage die Meteorologie nenne, sei noch keine wirkliche Wissenschaft. Um sie dazu zu machen, werde man erst die chemische und statische Beschaffenheit der Atmosphäre, die Gesetze, nach denen der Druck, die Dichtigkeit, die Temperatur, die elektrische Spannung derselben in den verschiedenen Höhen abnimmt, begreifen müssen. Weiter würde man in den niederen, fortwährend so unregelmäßig sich bewegenden und sich verändernden Schichten; wenn auch nicht die unendlich verschiedenen Ursachen, so doch wenigstens die Natur der localen Vorgänge, die darin vorkommen, erkannt haben müssen: Die Bildung und die innerliche Beschaffenheit der abgeschlossenen Dunstgebilde, welche man Wolken nennt, die natürlichen Verhältnisse, unter denen diese Dunstmassen, welche mitunter, den Gesetzen der Schwere scheinbar enthoben, sich lange schwebend erhalten, sich zu Regen, zu Schnee, zu Hagel verdichten. Ueber alle diese ganz gewöhnlichen Erscheinungen befänden wir uns noch in einer fast vollständigen Unkenntniß (?) und das Wenige, was wir darüber wüßten, verdankten wir den Beobachtungen einzelner scharfsinniger Männer, welche sich darauf gelegt, einzelne Erscheinungen ganz speciell zu erforschen, z. B. *Well's* über Thau. Ueber die Meteore wüßten wir noch gar nichts, z. B. nicht was eine Wolke sei, weder in welchem Zustande die Wassertheilchen, aus denen sie besteht, sich befänden, noch wie sie sich zusammengehäuft in der Schwere hielten (?). (Vergl. Art. *Wolken*.) Die meteorologischen Hauptinstrumente seien auch erst in neuester Zeit genauer geworden. Zu den Resultaten über die allgemeine Verbreitung der mittleren Temperatur über die Erdoberfläche sei man beiläufig gekommen bei Gelegenheit anderer Forschungen, z. B. durch Astronomen, wissenschaftliche Reisende, Seefahrer. Er sei daher dafür, dergleichen Untersuchungen dem freien Ermessen und Belieben Einzelner oder freier Vereine zu überlassen. Die Idee an vielen Observatorien regelmäßig zu bestimmten Stunden, bei Tag und bei Nacht, Barometer, Thermometer, Hygrometer u. zu beobachten, sei zuerst auf dem weiten Gebiete Rußlands in großartigem Maßstabe ausgeführt und es finde sich dort eine wahre Armee von Meteorographen, auch andere Länder Europas hätten dies nachgeahmt; aber nach seiner (*Piot's*) Ansicht hätten, ungeachtet aller Sorgfalt, die Veröffentlichungen der Beobachtungen noch keinen wirklichen Gewinn gebracht. Sie hätten zur Förderung der meteorologischen Wissenschaft noch nichts beigetragen, sondern nur zusammenhanglose, nur äußerlich zusammengehäufte Massen von Thatfachen geliefert, die weder für die Theorie, noch für die Praxis einen Nutzen hätten. Die allgemeinen Gesetze, von denen die statische Beschaffenheit

der Atmosphäre beherrscht wird, könne man nicht durch Beobachtungen finden, die man in den niedrigsten Luftschichten aufstellte, in welchen alle möglichen Ursachen von Störungen ihren Sitz hätten. Auch die einfache Beschreibung der meteorologischen Phänomene, die in der niedrigsten Schicht der Atmosphäre vorkommen, werde man nicht erlangen. Man könne diese Gesetze nur nach und nach durch Beobachtungen, die ein specielles Ziel hätten und die mit richtigem Takte angestellt würden, aufspüren.

Daß diese Ansichten eines sonst so namhaften Naturforschers viel Schiefes enthalten, braucht nicht erst näher auseinandergelegt zu werden; auch spricht schon das Resultat entscheidend, daß trotz dieses Einspruches in Frankreich meteorologische Stationen eingerichtet sind. Man betrachte auch nur die Ergebnisse des deutschen meteorologischen Vereins, wovon Manches im Art. Regen benutzt ist und die Zeitschrift für Allgemeine Erdkunde, Neue Folge Bd. II., sehr wichtige Resultate enthält. Es liegt in der Natur der Sache, daß bloß locale Beobachtungen hier nicht ausreichend sind, wo die bedingenden Ursachen in der Regel in der Ferne liegen. Gleichzeitige Beobachtungen an fern von einander liegenden Stationen können hier nur die erwünschten Aufschlüsse gewähren. Im August des Jahres 1837 traten im Gmmenthale große Ueberschwemmungen in Folge von Wolkenbrüchen ein, und worin hat man die Ursache gefunden? In den Orkanen, welche Portorico und St. Thomas heimsuchten. Es ist Thatsache, daß das Regenwasser der Westküste Europas namentlich von den Dünsten herrührt, welche dem caraischen Meere entsteigen. Und wie segensreich kann es nicht sein, wenn der elektrische Telegraph den Anzug eines Sturmes überholt und noch zu rechter Zeit Vorsichtsmaßregeln ausführbar machen läßt. Insofern würde der Telegraph der beste Wetterbote sein.

Doch genug! Es kam und zunächst darauf an zu zeigen, daß zur Zeit eine Wetterprophezeiung auf längere Zeiten vorher nicht möglich sei, daß man aber schon wesentliche Schritte gethan hat, um manches Gesetzmäßige zu erforschen, und daß es in vielen Fällen gelungen ist, die Ursache des eingetretenen Wetters nachträglich aufzufinden. Mäßiger Eifer wird noch manche Aufschlüsse liefern. Sofort darf man freilich die Lösung eines so verwickelten Phänomens nicht erwarten.

Ueber das bereits gefundene Gesetzmäßige, das keineswegs gering anzuschlagen ist, müssen wir auf die speciellen Artikel verweisen: Atmosphäre, Barometer, Dunst, Hygrometer, Wolken, Gewitter, Regen, Thau, Nebel, Reif, Eis, Wärme, Isothermen, Klima, Wind, Hof, Regenbogen &c. Einzelne festgestellte Gesetze werden wir in Folgendem anführen. Auch sei hier noch hingewiesen auf: Das Wetter und die Wetterprophezeiung. Ein Cyclus meteorologischer Vorträge für Gebildete von Joseph Helmes. Hannover 1858.

Der gewöhnliche Unterschied, welchen man beim Wetter macht, ist, ob es gut oder schlecht sei. Da man damit nur das subjective Befinden des Menschen bei einem gewissen Zustande der Atmosphäre bezeichnet, so daß man gutes Wetter denjenigen Zustand der Atmosphäre nennt, bei welchem die Luft rein und heiter ist, schlechtes Wetter hingegen das Gegentheil, also insbesondere regniertes Wetter, — so daß das sogenannte gute Wetter z. B. für den Landmann, der sich

nach Regen steht, eigentlich schlechtes Wetter sein kann —, so hat dieser Unterschied für den Meteorologen gar keinen Werth.

Nach dem Eingangs dieses Artikels Gesagten ist es selbstverständlich klar, daß auf längere Prophezeiungen nichts zu geben ist. Es sei daher nur als historische Notiz angeführt, daß V a c c o folgende Regeln gegeben hatte:

Ein heiterer Herbst deutet auf einen ungestümen, windigen Winter; ein windiger Winter auf einen regnerischen Frühling; ein regnerischer Frühling auf einen heiteren Sommer und ein heiterer Sommer auf einen ungestümen, windigen Herbst. — Das wäre also ein ganzer Jahrgang, indem sich Prophezeiung an Prophezeiung reiht, so daß man gleich weiß, daß auf einen ungestümen, windigen Winter ein eben solcher Herbst folgen wird. — Nach ebendenselben bedeutet ein feuchter und kühler Sommer einen harten Winter; ein heißer und trockner Sommer, besonders wenn sich die warme und trockene Witterung weit in den September hinein erstreckt, läßt einen gelinden Anfang des Winters erwarten, aber es erfolgt gern Kälte gegen das Ende und im Anfange des Frühling; ein gelinder und warmer Winter ist der Vorbote eines heißen und trocknen Sommers, besonders wenn es im Winter viel regnet. Viel Schnee und Frost in den Monaten Oktober und November läßt im Januar und Februar gelinde Witterung vermuthen. Ist es, sagt derselbe, gegen das Ende des Octobers und Anfang Novembers größtentheils warm und regnerisch, so sind der Januar und Februar ungemein frostig und kalt, es wäre denn zuvor ein sehr trockener Sommer gewesen. Herrscht in den letzten 18 Tagen des Februars und in den ersten 10 Tagen des März eine regnerische Witterung, so ist diese auch im Frühling- und Sommertrimester zu befürchten. Ereignen sich im Frühjahr Ueberfluthungen und tritt das Grundwasser häufig hervor, so darf man im folgenden Sommer große Hitze und eine Menge Ungeziefer erwarten.

Ebenso sind die Regeln, welche der Engländer R i r w a n zufolge der Beobachtungstabellen, die man in England von dem Jahre 1677 bis 1789 gesammelt hatte, aufstellte und die er nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung aus diesen gezogen hatte, ohne Werth. Er fand: 1) daß, wenn vor oder gleich nach dem Frühling-Äquinoctium kein Gewitter entsteht, der Sommer alsdann ungemein trockene Witterung hat; unter 6 Mal trifft dies wenigstens 5 Mal ein. 2) Kommt ein Gewitter von Osten am 19., 20. oder 21. Mai, so herrsche im folgenden Sommer unter 5 sicher 4 Mal ebenfalls trockene Witterung. 3) Ebenso folgt in demselben Verhältnisse, daß unter 5 wenigstens 4 Sommer trocken sind, wenn im Maimonate am 26., 27. oder 29. ein Gewitter erscheint. 4) Kommt vom 12. bis 22. März ein Gewitter von Westen her, so giebt es indgemein unter 6 Sommern 5, deren vorherrschende Witterung feucht ist. — Die Ungewißheit dieser Voraussetzungen ergiebt sich sofort, da der Zusammenhang zwischen diesen Gestaltungen der zukünftigen Witterung und den darauf hindeutenden Vorerscheinungen nicht wohl einzusehen ist.

Den meisten Unfug, um nicht zu sagen das meiste Unheil, hat Ende des 17. Jahrhunderts ein gewisser R n a u e r angerichtet*). Derselbe ließ einen sogenannten 100 jährigen Kalender erscheinen, ein Wunderbuch, das neben anderen Schicksalen zumal das Wetter auf 100 Jahre voraus prophezeihete. Jedem

*) H e l m e d, das Wetter u. S. 188.

Jahre wurde einer der Planeten nach der Reihenfolge: Saturn, Jupiter, Mars, Sonne, Venus, Merkur, Mond als Jahresregent vorgesetzt und schon von der Natur dieses Regenten, wie sie in der alten Mythologie einen Anhalt fand, die Grundbeschaffenheit des Jahres, ob heiß oder kalt, trocken oder naß, friedlich oder kriegerisch u. angegeben, die näheren Bestimmungen aber nach allerlei zu erwartenden Constellationen und anderen bevorstehenden Erscheinungen am Himmel weiter ausgeführt *). Auf nicht viel höherer Stufe stand der Zeus des Karlsruher Professor Stieffel, und ebenso traurig steht es mit der Astro-Meteorologie des Rechnungsrath A. Schneider in Berlin (1850) aus. Letzterer erkennt zwar auch die Wärme als das Hauptagens der Witterung an und leitet aus ihr die verschiedenen Barometerstände, Winde u. ab, aber außerdem setzt er die Meteorologie in die unmittelbarste Verbindung mit der Astronomie. Er geht nämlich von dem Grundsatz aus, daß der letzte Grund der Witterungsveränderungen nicht sowohl in dem tellurischen Leben der Atmosphäre zu suchen sei, als vielmehr in dem Kosmischen, d. h. daß sie durch die verschiedenen Stellungen der Erde zum Monde, zur Sonne und zu den Planeten bedingt würden. Ist doch nicht einmal der Einfluß des Mondes unbestritten; wie will man nun gar die Planeten in Rechnung nehmen!

Im Jahre 1770 erschien von dem Professor der Astronomie und Abt Toaldo zu Padua: Meteorologischer Versuch, oder von dem Einflusse der Sterne und ihrer Stellungen auf die Veränderungen des Wetters zum Nutzen der Landwirtschaft, Medicin, Schiffahrt u., wobei er vierzigjährige Beobachtungen von Volani aus den Jahren 1725 bis 1764 zu Grunde gelegt hatte; 4 Jahre später (1774) wurde desselben Witterungslehre von der königlichen Societät der Wissenschaften zu Montpellier gekrönt **). In diesem Werke kommen nicht viel bessere Prophezeiungen vor, als bei Vaco, z. B.: Man kann sechs gegen eins wetten, daß der Neumond das Wetter ändert; sieben gegen eins, daß das Perigäum dasselbe thut; trifft aber der Neumond mit dem Perigäum zusammen, so ist es moralisch gewiß, daß alsdann eine starke Wetterveränderung eintritt. Um das Apogäum und die Quadraturen neigt sich das Wetter zum Schönen; um die Syngien und das Perigäum zum Regen. In den Neu- und Vollmonden, die den Nachtgleichen nahe sind, zum Theil auch in denen um die Sonnenwenden, hauptsächlich um die Wintersonnenwende, bestimmt sich das Wetter gemeiniglich für drei, auch wohl für sechs Monate zum Nassen oder Trocknen. Auf einen feuchten Herbst und einen gelinden Winter folgt gemeiniglich ein trockner und kalter Frühling; ist im Gegentheile der Winter trocken, so wird das Frühjahr feucht sein; auf einen nassen Frühling und Sommer folgt ein heiterer Herbst, auf einen heiteren Herbst ein nasses Frühjahr u. s. f.

*) Die ersten Fortsetzungen dieses astrologischen Fabrikats erschienen (nach Helmet a. a. O.) unter der Autorschaft des namhaften Erfurter Arztes, Christoph v. Helmig, dessen Kalender bis zu allen Schichten des Volkes durch drang, unzählige Male auch nach seinem Tode 1721 gedruckt wurde, und noch 1786 aufs neue ganz umgearbeitet und mit 37 Kupferstichen versehen in Leipzig erschien. Von diesem Kalender her datirt der Unfug der Wetterregeln des 100jährigen Kalenders, mit denen noch jetzt so viele Kalender unruhmlische Weise ausgestattet werden.

**) Joseph Toaldo, Witterungslehre für den Feldbau, aus dem Italienischen übersetzt von Steudel. Berlin 1777.

Das Gefährliche war, daß in Lavoisier's Arbeit scheinbar wissenschaftlich verfahren war. Die Sache schien Methode zu haben und fand darum Anklang. Auch der Botaniker Lamarck unternahm es aus seinen seit 1776 angestellten Beobachtungen das Wetter des Jahres 1799 vorherzusagen und stellte Wahrscheinlichkeiten auf, die für die Wahl der Zeit bei einer Reise, der Abfahrt einer Flotte, zum Beginn der Ernte des Heues und des Getreides und vieler anderen häuslichen Geschäfte höchst bedeutungsvoll wären. Diese Versuche aus den Mittelwerthen langjähriger Beobachtungsreihen mit Berücksichtigung etwa des Mondstandes, der Mondperioden und dergleichen das Wetter auf längere Zeit vorherzusagen, haben sich immer trügerisch gezeigt, selbst Giftenlohr, der sonst so besonnen verfuhr, mußte die traurige Erfahrung machen, daß das Jahr 1846 ein Theuerungsjahr wurde, während er bereits 1845 ein höchst fruchtbares Jahr prophezeit hatte; doch hatte Lavoisier's Arbeit das Gute, die Untersuchung über den Einfluß des Mondes namentlich anzuregen.

Das Wetter ist nun einmal ein allgemeines Lieblingsethema. Einsicht in die bedingenden Verhältnisse findet man bei der Menge in den wenigsten Fällen, und daher ist nicht zu verwundern, daß immerhin noch alte und neue Witterungsregeln, so gehalten und unbegründet sie sind, bei der großen Menge Beifall finden. Dasselbe gilt auch von den meteorologischen Instrumenten. Das Barometer ist für die Mehrzahl immer noch nichts weiter als ein Wetterglas, dessen Steigen heiteres, dessen Fallen trübes Wetter bezeichnet. Daß dabei noch auf andere Verhältnisse, z. B. auf die Tageszeit, auf die Windrichtung Rücksicht zu nehmen sei, kümmert in der Regel nicht. — Das Montons'sche Thermometer (s. Artikel Thermometer, Bd. VI. S. 295) mit Wasser gefüllt und gewöhnlich als Wasserbarometer beim Publikum bekannt, findet man nicht selten und hört die Versicherung, daß diese Instrumente höchst zuverlässig seien, während dieselben doch eigentlich Barometer und Thermometer zugleich sind, d. h. Wärme und Luftdruck auf den Stand der Flüssigkeit gleichzeitig Einfluß ausüben. — Andere halten wieder viel von ihren Hygroskopen, so schlecht dieselben auch sind. So mußte in diesem Jahre (1858) der Verfasser dieses Artikels erleben, daß um hohen Preis ein Apparat feil geboten wurde, der alles Mögliche vorherzusagen sollte. Dies Wetterglas soll von dem Amerikaner Wright (?) herrühren und wird auf zweierlei Art angefertigt:

1) Löse 2 Drachmen reinen Salpeter und $\frac{1}{2}$ Drachme pulverisirten Salmiak in 2 Unzen Weingeist auf; fülle damit ein längliches Gläschen, z. B. die früheren Gläschen des kölnischen Wassers, binde mit zartem Leder zu, durchstich dies mit einigen Nadelstichen, hänge das Glas an ein schattiges Fenster, wo es windstill ist. — Bleibt der Weingeist klar und durchsichtig, liegen die aufgelösten Salze zu Boden, so erwarte schönes Wetter; trübt er sich durch Flocken mehr oder weniger undurchsichtig, dann giebt es schlechtes Wetter; bei bevorstehendem Sturme geht der ganze Bodensatz in die Höhe und der Weingeist bekommt eine gärende Bewegung. Der Bodensatz soll sich auch stets nach jener Seite drängen, woher der stürmische Luftstrom kommt. Die Anzeichen stellen sich 24 Stunden vorher ein.

2) Löse $\frac{1}{2}$ Loth Kampfer, $\frac{1}{2}$ Loth Salpeter, $\frac{1}{8}$ Loth Salmiak in Weingeist auf, fülle damit ein längliches Gläschen, verkorkte es gut und versiege dasselbe. Die Wirkung dieses Apparates soll der des vorigen gleich sein, außerdem

aber zeigen Eis oder Krystall auf dem Boden im Sommer schwere Luft, im Winter Frost an; kleine Sterne bedeuten im Sommer Donnerwetter, große Flecken trübe Luft, im Winter Schnee; Fäden prophezeihen Wind; kleine Punkte Nebel und feuchtes Wetter; kleine Sterne bei hellem Winterwetter deuten auf harten, scharsen Schnee. Je höher im Winter die Eisbildung im Glase, desto schärfer wird die Kälte. Emporsteigen des Bodensages zeigt ein Erdbeben an.

Alles dies war an einem Instrumente der letzteren Art zierlich an einer Scala verzeichnet. Kann man wohl annehmen, daß solche Instrumente Abnehmer finden? Ich glaube es sehr gern.

Es würde unnütze Zeitverschwendung sein, wollte man auf alle möglichen Witterungsregeln, namentlich auf die vielen Bauernregeln eingehen; manche enthalten eine gute Beobachtungsgrundlage, namentlich diejenigen, welche sich auf den Witterungscharakter einzelner Tage beziehen ohne eine Prophezeiung für die Folgezeit daran zu knüpfen und somit eigentlich nur den Charakter der Jahreszeit, in welcher diese Tage liegen, bezeichnen. Als solche führt Helmes an:

Sanct Georg und Marc's (23. und 25. April)
Dräuen noch viel Arg's.

Oder: Wenn die Tage langen,
Kommt der Frost gegangen.

Erster Spruch soll offenbar an die häufigen Rückfälle der Kälte zu Ende April erinnern und der zweite daran, daß erst nach dem kürzesten Tage, im Januar und Februar die strengste Kälte zu kommen pflegt. Ebenso sind die gestrengen Herren: Mamertus, Pancratius und Servatius, wenn man es mit dem 11., 12. und 13. Mai nicht zu genau nimmt, nicht ohne tatsächliche Begründung und selbst der 30. Mai (Wizand) macht sich gar oft noch bemerkbar. Am aller unzuverlässigsten sind diejenigen Regeln, welche sich an die beweglichen Festtage anlehnen, wohn z. B. die bekannte Schneefenregel: Deuli da kommen sie ic. gehört. Ohne Sinn und Wahrheit sind Sprüche, wie folgender:

Wie Bartholomäi Tag sich hält
So ist der ganze Herbst bestellt.

Ebenso haltlos sind Wetterregeln, welche man aus dem Leben der Pflanzen entnommen hat. So soll es grausamen, harten Winter bedeuten, wenn der Rußbaum, der Weißdorn und der Hagebuttenstrauch, nicht minder die Eiche und die Buche reichliche Frucht tragen, hingegen einen schönen Herbst und gelinden Winter, wenn die Stämme früh ihr Laub verlieren.

Mehr Gewicht hat man auf den Instinct der Thiere gelegt, jedoch auch mit Unrecht. Wir stimmen Helmes bei, daß es nicht zweifelhaft sein dürfte, daß die Zugvögel immer nur den Eindrücken des jedesmal stattfindenden Wetters folgen, und daß Erscheinungen wie das Brüten zum zweiten Male bei den Störchen und Schwalben nur eine Folge des vorangegangenen Wetters sind, keineswegs aber einen späten Eintritt des Winters prophezeihen. Manche Thiere stehen als Wetterpropheten bei dem Landmanne in besonderen Ansehen: z. B. die Elstern sollen schon im Frühjahr ihre Nester an die entgegengesetzte Seite des Baumes von der Richtung, welche die Gewitter im folgenden Sommer nehmen, bauen. Den größten Ruf als Wetterpropheten haben sich die Spinnen und zwar die Haus- oder Winkelspinnen (*Tegenaria* s. *Aranea*

domestica) und die Kreuzspinne (*Epeira Diadema*) erworben. Schon in: *Meteorographicum perpetuum* oder immerwährende *Practica* des Barthol. Scultetus, Görlitz 1588 ist von dem Benehmen der Spinnen bei bevorstehenden Witterungsänderungen die Rede, besonderes Aufsehen erregte aber folgender Fall.

Im Jahre 1794 *) war der Generaladjutant des Generals Vichgrü, Quatremère-d'Isonval, in holländische Gefangenschaft gerathen, als die Revolutionärsarmee unter diesem Generale an der Grenze stand. Die Holländer öffneten ihre Schleusen und setzten ihr ganzes Land unter Wasser, um die Neufranken abzuhalten, die auch schon zum Rückzuge Anstalt machten. Da sandte d'Isonval eine Nachricht aus seinem Gefängnisse, in welchem er sich mit Beobachtung der Spinnen beschäftigte, daß ihm diese für sicher eine binnen zehn Tagen eintretende strenge Kälte prophezeiht hätten. Der General erwartete sie also, sie traf ein, und die Republikaner zogen auf dem Eise nach Amsterdam. Quatremère-d'Isonval wurde befreit und im Triumphe nach Paris gebracht. Sein Ruhm dauerte so lange, bis ihm einst eine ähnliche Prophezeiung mißglückte.

Helm es sieht in dem Eintreffen dieser Prophezeiung noch keine Sicherstellung der fraglichen prophetischen Natur der Spinnen; Voigt ist, gestützt auf eigene Beobachtungen, welche die Richtigkeit der Anzeigen der Spinnen, oft zum Erstaunen, bestätigten, der Ansicht, daß diese Thiere allerdings diesen Ruhm verdienen, nur dürfe man nicht dasjenige von ihnen erwarten, wozu ihre Beschaffenheit nicht tauglich sei, und nicht vergessen, daß fortgesetzte Störungen ihnen ihre Unbefangtheit nehmen und sie so der Natur der Sache nach weniger brauchbar machen. Den physiologischen Grund findet Voigt in dem Doppelverhältniß eines dicken, feuchten Bauches und zarter, langgestreckter Gliedmaßen. Wenn die einen Theile, thermometrisch, für Wärme und Kälte empfindlich seien, so seien es die anderen für die Trockenheit und Feuchtigkeit. Es sei daher erklärlich, daß die Spinne bald ihre Beine weit hervorstrecke, bald einziehe, oder daß sie webe, um sich ihres Ueberflusses zu entledigen, und umgekehrt nicht webe. Aber auch weiterhin werde sich ihr Gefühl von Hunger und Durst, Ruhe und Thätigkeit hiernach richten, und die schon sich vorbereitenden Veränderungen der Atmosphäre wahrnehmen, um sich danach zu stellen. Man soll die Spinnen möglichst alt und groß wählen, sie zwar öfter beobachten, jedoch dafür sorgen, ihnen nicht nahe zu kommen, daß sie es nicht merken, denn dann zeigten sie nicht mehr richtig an und verließen wohl gar ihren Wohnplatz. Füttern soll man sie eigentlich nicht; auch das Gewebe soll man nicht zerstören, und überdies mehrere an verschiedenen Orten beobachten, um zu sehen, ob sie übereinstimmen.

Das Wesentlichste der Wetteranzeigen der Spinnen ist nun nach Voigt folgendes:

1) Auf schön Wetter deutet:

Wenn es viele Kreuzspinnen giebt, und wenn dieselben ins Große arbeiten; je größer und mächtiger die Grundfäden ausgesponnen werden, desto beständiger und heiterer bleibt es. — Wenn sie in der Nacht ein neues Gewebe verfertigen. — Wenn sie sich häuten. — Wenn man früh um zehn Uhr eine Kreuzspinne mitten in ihrem Gewebe findet und sie diees stark rüttelt, so ist einer

*) Lehrbuch der Zoologie von Voigt, Bd. IV. S. 128. Stuttgart 1838.

der schönsten Tage zu gewarten. — Wenn die Winkelspinnen in den Häusern in ihrem Gewebe den Kopf zeigen und die Füße weit hervorstrecken. — Wenn sie Eier legen, was sie in heißen Jahren sieben Mal thun. — Wenn sie in der Nacht das Gewebe vergrößern und am Tage die Füße sehr weit hervorstrecken. Dann wird das Wetter am schönsten.

2) Auf veränderliches Wetter deutet:

Wenn es nur wenige Kreuzspinnen giebt, oder wenn diese nur schwach und im Kleinen arbeiten.

3) Auf Regen deutet:

Wenn die Kreuzspinnen gar nicht spinnen, oder wenn man gar keine sieht. — Wenn sie die Hauptsäden nur sehr kurz ansetzen. — Wenn sich die Winkelspinnen im Gewebe umkehren und den Hintern zeigen. In diesem Falle folgt anhaltender Regen.

4) Gewitter werden angezeigt:

Wenn die Kreuzspinnen ihr schönstes Gewebe zerreißen und sich oben in einem Winkel verbergen. — Wenn sich die Winkelspinnen in ihrem Lode umkehren, wie zuvor angeführt. — Beide Arten von Spinnen thun dies schon einige Tage zuvor, oft bei dem schönsten Wetter.

5) Wind wird angezeigt:

Wenn die Kreuzspinnen gar nicht spinnen. — Wenn sie nur die Speichen des Rades spannen, ohne die zirkelförmigen Fäden um den Mittelpunkt anzulegen. In diesem Falle legt sich aber der Wind wieder nach 10 bis 12 Stunden. — Wenn sie ein Drittel oder ein Viertel ihres Netzes plötzlich zerreißen, und in ihre Schlupfwinkel kriechen. Hier wittern sie den Sturm, der aber bald nachlassen, und das schönste Wetter zurückführen wird.

6) Kälte wird im Winter angezeigt:

Wenn die in den Wohnungen überwinternden Winkelspinnen hervorkommen, stark hin- und herrennen, und um die bestgelegenen schon fertigen Gewebe kämpfen und sie in Besitz nehmen. — Wenn sie ganz neue Gewebe spinnen, oder wenn sie in der Nacht ein oder mehrere Gewebe über einander verfertigen. Dies deutet auf heftige, anhaltende Kälte, die gewöhnlich nach 8 bis 10 Tagen eintritt.

Geben wir selbst die eben angeführte prophetische Kraft der Spinnen zu, so reicht sie doch nicht weit in die Zukunft hinaus; denn 8 bis 10 Tage würde das Maximum sein. Es erscheint auch unwahrscheinlich, daß der thierische Instinkt die große Menge von Wechselln, welche innerhalb auch nur eines Viertelsjahres stattfinden, vorausahne oder vorempfinde. Handelt es sich aber nur um Vorzeichen eines unmittelbar nahe bevorstehenden Witterungswechsels, so giebt es deren eine nicht geringe Zahl und die Spinne steht insofern nicht vereinzelt da. Blutegel und Laubfrosch können freilich nicht wohl in Betracht kommen, ungeachtet des Rufes, den sie als Wetterpropheten genießen, wenigstens nicht in der Gefangenschaft, denn diese beeinträchtigt jedenfalls ihre prophetische Thätigkeitsäußerung, wenn sie solche auch im freien Zustande betheiligen möchten; aber der niedrige Flug der Schwalben, das ungewöhnlich häufige Aufspringen der Fische über die Oberfläche des Wassers sind in der That Vorboten eines bevorstehenden Regenwetter. Sind nämlich die oberen Luftregionen schon feucht, so ziehen sich die Rückenschwärme und andere Insecten, welche den Schwalben zur Nahrung dienen, näher an die Erdoberfläche herab und ihnen folgen die Schwalben, so wie denn

alsdann auch die Fische an die Oberfläche kommen, weil sie nun hier reichliche Nahrung finden. Ebenso sollen bei bevorstehendem Regen die Schnecken an Bäumen und Steinen emporkriechen, dergleichen die Grillen und Heuschrecken unter Blättern oder in hohlen Stämmen Schutz suchen u., des kleinen Sturmvogels (*Procellaria pelagica*), der sich bei herannahendem Sturme auf Schiffe setzt, und der Möven (*Larus*), die bei bevorstehendem schlechten Wetter landeinwärts ziehen, nicht zu vergessen.

Ueber die Fragen: „Was ist Wahres an allen den Anzeigen der bevorstehenden Witterung oder Witterungsveränderungen, welche man aus dem Fluge der Vögel, aus dem Schreien der Vögel und anderer Thiere und was man sonst an verschiedenen Thieren in dieser Hinsicht bemerkt haben will, hernimmt? Hat die Erfahrung eines derselben oft genug bestätigt, daß man sich darauf verlassen könne? Was ist im Gegentheile daran zweifelhaft oder durch die Erfahrung widerlegt? Und in wie weit läßt sich das, was man beobachtet hat, aus dem erklären, was man von der Natur der Thiere weiß?“ wurde 1807 von der königlich Harlemer Societät der Wissenschaften ein Preis ausgeschrieben, und die Antwort, welche Professor J. Konijnenburg zu Amsterdam 1815 darauf einreichte, gekrönt. Die Preisschrift weist die meisten der in Rede stehenden Wetteranzeigen als leer und inhaltslos nach.

Aus dem Leben der Pflanzen entnommene Anzeigen bevorstehender Witterungsänderungen dürfte es gar nicht geben; die Erscheinungen, welche dafür sprechen sollen, haben ihre bedingenden Verhältnisse in dem gegenwärtigen oder vorhergegangenem Witterungszustande. Helmes (a. a. O. S. 239) führt, und auch hier nicht ohne Zweifel, nur ein Zeugniß an, nach welchem für die Region der Tropen die bevorstehende Veränderung des Wetters fast ebenso sicher durch das Verhalten einiger Pflanzen verkündet werden soll, als es sonst das Barometer thut. Nach einem Berichte des Reisenden M. Wagner *) soll es dort Pflanzen geben, welche gleich unserer großen Eberwurz ihre Kelche schließen, oder wie die meisten *Oralis*-Arten ihre Blätter falten, oder wie unser gemeines Hungerblümchen (*Draba verne*) die Blätter herabneigen, wenn ein Gewitter am Himmel grollt. Viele Bäume sollen dort weit stärker, als unsere Birken duften, wenn na her Regen zu erwarten ist. Andere Arten soll es geben, die mit geöffneten Blumenkronen wach bleiben, gleich den regenscheuen Ringelblumen (*Calendula pluvialis*), wenn ein beständig heiterer Tag zu erwarten, oder die wie die *Sorbus*-Arten durch das Offenbleiben oder Schließen ihrer Corollen das Wetter selbst für den nächsten Tag verkünden.

Bessere Anzeigen über bevorstehende Veränderungen des Wetters giebt uns das Aussehen des Himmels. Wir verweisen wegen der Abendröthe und Morgenröthe auf Art. Dämmerung, Bd. II. S. 14, woselbst auch (S. 13) die Dämmerungsstrahlen als Regenzeichen erwähnt sind; im Art. Nebel, Bd. V. S. 39, ist das Fallen und Steigen des Nebels mit seinen Folgen besprochen; die reichliche Thaubildung als Vorzeichen schönen Wetters ergiebt sich aus dem, was über die näheren Umstände, unter denen sich der Thau vorzugsweise bildet, im Art. Thau, Bd. VI. S. 269 gesagt

*) Allg. Augsb. Zeitung 10. Nov. 1833.

ist. Besonders wichtig sind die Wolkenformen (s. Art. *Wolken*) und ihre Veränderungen.

bleiben die Fiedervolken nach vorangegangener Dürre fein und zart, ihre Gestalt oft wechselnd, so ist noch nicht an Regen zu denken; werden sie aber dichter, zahlreicher und größer, d. h. bezieht sich der Himmel, so gilt dies als eintretender Wind und Regen. Dann zeigt sich gegen Abend in Westen gewöhnlich der Wolkendam, welchen Göthe *Varies* zu nennen vorgeschlagen hat, als ziemlich sicheres Regenzeichen. Treten die Fiedervolken nach vorangegangenen warmen Regen und nach herrschenden West- und Südwestwinde auf, so gelten sie auch als Zeichen einer veränderten Windrichtung und eines Wetterumschlages und zwar deuten die dann sich bildenden *Lämmchen* oder *Schäfchen* auf heiteres Wetter.

Zeigt die *Hausenwolke* Reizung sich aufzulösen, was namentlich in den Nachmittagsstunden zu erwarten ist, so liegt darin der Beweis, daß die Luft von ihrem Sättigungspunkte noch entfernt und an Regen nicht zu denken ist; nehmen sie aber entschieden und zwar selbst des Nachmittags an Dichtigkeit zu, verlieren sie ihre schöne Wölbung und überziehen sie immer mehr das Himmelsgewölbe, so ist darin eine Andeutung gegeben, daß die Luft dem Sättigungspunkte zuschreitet. Daß dann gegen Abend gewöhnlich eintretende sogenannte *Wasserziehen*, indem die Sonnenstrahlen dann nur durch Wolkenslücken durchbrechen, ist darum als ein Regenzeichen bekannt.

Von der *Schichtwolke* als einem Nebel gilt dasselbe, was von diesem bereits angeführt ist. Verschwindet dieselbe des Morgens nicht, wo dann ein bleiches Morgenroth erscheint, so steht sicher Regen zu erwarten. Zeigt sie sich des Abends in Begleitung von feurigem Abendroth, so ist noch Aussicht vorhanden, daß eine Auflösung in *Hausen-* und *Fiedervolken* eintritt. Tritt die *Schichtwolke* an Wintertagen des Abends auf mit prächtiger Abendröthe, so folgt gewöhnlich eine heitere, kalte Nacht. Die untergehende Sonne erscheint dann meist ungewöhnlich groß.

Die Wolkenbildung an Berggipfeln als Regenzeichen ist im Art. *Wolken* besprochen. Das sogenannte *Frauen der Berge*, d. h. das Sichtbarwerden von Nebeln über Quellen oder feuchten Stellen gehört eben dahin. Ueberhaupt wo Wasserdünste in die Luft steigen, also bei Locomotiven, bei Siedehäusern u. kann der aufmerksame Beobachter an der längeren und dickeren oder schnell verschwindenden Dampfwolke sehen, ob die Atmosphäre dem Sättigungspunkte nahe ist oder nicht.

Große Durchsichtigkeit der Luft ist ein Zeichen, daß die Luft dem Sättigungspunkte nahe ist; der Dunst, welcher sich an den Höhen lagert und die Fernsicht beschränkt, ist umgekehrt ein Zeichen von Trockenheit. Bei fast gesättigter Luft zeigen auch die Sterne einen weit helleren und zugleich ruhigen Glanz.

Die sogenannten *Windstreifen* sind untrügliche Zeichen eines nahenden Regenwindes. Daß *Höfe* um Sonne und Mond als Vorboten von nasser Witterung und Wind, oder von Schneewetter gelten, ist im Artikel *Hof*, Bd. III. S. 861 auseinander gesetzt; denn die Entstehung der Kränze setzt das Vorhandensein von Dunstfugeln und die der *Höfe* im engeren Sinne das von Eidenadeln voraus.

Nach Frisch *) deutet das Wasserziehen eine Verminderung, der Regenbogen eine Vermehrung der Niederschläge an.

In Betreff der Hagelwetter verweisen wir auf Art. Hagel, Bd. III. S. 676; ebenso in Bezug auf die Gewitter auf Art. Gewitter, Bd. III. S. 560, aus dem wir hier nur noch die richtige Bauernregel wiederholen (S. 601), daß die Gewitter ein Ende haben, wenn sich das Wetter abkühlt, daß sie aber zurückkehren, wenn dies nicht der Fall ist.

Es würde nun noch nöthig sein auf die Witterungsanzeigen einzugehen, welche den meteorologischen Instrumenten entnommen sind. Wir können und müssen indessen deshalb auf die anderweitigen Artikel verweisen, da wir sonst zu vielen Wiederholungen genöthigt sein würden. Es kommen hier namentlich die Art. Atmosphäre und Wind in Betracht. Wegen des regelmäßigen Steigens und Fallens des Quecksilbers in dem Barometer vergl. Bd. I. S. 497, wegen der unregelmäßigen Veränderungen desselben vergl. Bd. I. S. 519, wegen des Einflusses des Mondes insbesondere auf den Barometerstand vergl. Bd. I. S. 532, ferner wegen des Einflusses desselben auf die Atmosphäre überhaupt Art. Mond, Bd. IV. S. 1119; wegen der Dampfatmosphäre vergl. Bd. I. S. 537; über das Verhältniß des Barometerstandes, des Thermometerstandes, der Elasticität des Wasserdampfes, des Druckes der trocknen Luft zu den verschiedenen Winden vergl. Art. Wind; ebenda ist auch auf den auffallend niedrigen Barometerstand bei und vor Stürmen aufmerksam gemacht worden.

Wir heben hier in Hinsicht auf Wetterpropheteiung den Zusammenhang zwischen Wind und Barometerstand noch besonders hervor. Die Veränderungen des Wetters sind vorzugsweise von dem Umschlage des Windes abhängig, so daß die Beobachtung einer guten Windfahne für Wetterpropheten eine Hauptsache ist; indessen zeigt das Barometer, und zwar, wenn ein Umschlagen des Windes aus der östlichen Richtung in die westliche in unseren Gegenden eintritt, diese Veränderung bereits durch ein Fallen an, noch ehe die Windfahne von dem Winde in ihrer Stellung verändert wird. Der westliche Wind als ein in unseren Gegenden wärmerer stellt sich nämlich zunächst in den oberen Luftschichten ein, weshalb er auch in diesen Schichten zunächst eine Trübung veranlaßt. In solchem Falle ist das Barometer ein Prophet und zwar kündigt dasselbe bevorstehenden Regen an. — Ein anderer Fall bringt die gedankenlosen Wetterglasbeobachter gewöhnlich in nicht geringe Verwirrung. Herrschen westliche Winde, regnete es aber nicht, wiewohl die Luft feucht war, so wird ein Umschlagen des Windes in die östliche Richtung ein Steigen des Barometers und Regen zur Folge haben. Warum dies geschehen muß, ist leicht begreiflich, da der kältere östliche Wind die Sättigung der bereits mit Dünsten reichlich beladenen Luft zur Folge hat. Hält der östliche Wind an, so wird nach erfolgtem Niederschlage heiteres Wetter eintreten, da dieser Wind keine neuen Dünste herbeiführt, und das Barometer hat also doch recht gehabt. — Barometerbeobachtungen in Bezug auf Witterungsveränderungen müssen also immer mit der Beobachtung der Windrichtung Hand in Hand gehen.

Schließlich machen wir noch auf eine Regel aufmerksam, welche Helmes (a. a. O. S. 246) selbstständig gefunden hat, die aber auch schon vor ihm von

*) Bericht d. Wien. Akad. Bd. IX. S. 3.

Munde aufgestellt worden ist *), nämlich: Beim Zustande regelmäßiger Witterung steigt das Barometer alle Zeit ungefähr um 9 Uhr Morgens um $\frac{1}{2}$ bis 1 Linie, und fällt ungefähr um 3 Uhr Nachmittags ebenso viel niedriger. So lange dies Steigen des Morgens stattfindet, ist kein Regen zu erwarten, welcher dagegen allezeit sicher an demselben Tage erfolgt, wenn das Barometer anstatt zu steigen zu dieser Zeit fällt. Helmes setzt hinzu: „Geschieht das plötzliche (oder unregelmäßige) Fallen des Barometers in den Vormittagsstunden bei herrschendem Westwinde, so pflegt schon um Mittag und noch früher Regen zu folgen (Schnee und Thauwetter im Winter); geschieht es bei Ostwind, so tritt ganz derselbe Fall ein, nur gewöhnlich etwas später und nicht so sicher.“

Das Barometer als Wetterglas reducirt sich also auf Folgendes: Beständigkeit im Gange und Stande des Barometers entspricht beständigem Wetter, Veränderlichkeit veränderlichem. Und zwar entspricht ein hoher Barometerstand heiterem und sonnigem Wetter bei östlichen und nördlichen Winden, großer Wärme im Sommer, strenger Kälte im Winter; ein niedriger aber trübem, dunklerem Wetter bei westlichen und südlichen Winden, Regen und Kühle im Sommer, Schnee oder Regen und Wärme im Winter. Durch ein auffälliges Steigen oder Fallen des Barometers wird eine Veränderung des Wetters im Voraus angezeigt, ein Uebergang desselben von dem Zustande, welcher der bisherigen Höhe des Quecksilbers entsprach, zu dem der neuen Höhe entsprechenden. H. G.

Wetterglas, s. Barometer und Wetter.

Wetterleuchten nennt man im Allgemeinen jede blitzähnliche, mehrmals wiederholte Lichterscheinung, welche von keiner vernehmbaren Detonation begleitet ist. Es gehört hierher also vorzugsweise das plötzliche Auflackern von Licht, welches man besonders häufig an heißen Sommerabenden an der Grenze des Horizontes wahrnimmt, und das oft zugleich in den verschiedensten Gegenden des Horizontes und über große Strecken ausgebreitet erscheint. Sternschnuppen, Feuerkugeln (s. Art. Feuerkugeln), Nordlichter (s. Art. Nordlicht) und das Zodiacallicht (s. Art. Thierkreislicht) sind hiermit nicht zu verwechseln. Das Charakteristische des Wetterleuchtens ist das wiederholte Blitzen.

Der gemeine Mann betrachtet das Wetterleuchten als ein Zeichen der Witterungsveränderung und erwartet, da das Phänomen gewöhnlich an heißen Sommerabenden auftritt, eine Abkühlung. Rührt das Wetterleuchten von einem entfernten Gewitter her, bei welchem der Donner der großen Entfernung wegen nicht wahrgenommen wird, so ist jenes in der Regel auch der Fall, da die Verdunstung des Regens mit einer Bindung von Wärme verbunden ist, welche nothwendig eine Störung des Gleichgewichtes in der atmosphärischen Luft zur Folge hat, die sich auch über die Gegend erstreckt, in welcher das Gewitter nicht stattgefunden hat. Es ist indessen fraglich, ob das Wetterleuchten stets von Gewittern herrührt. Wir verweisen deshalb auf Art. Gewitter, Bd. III. S. 599, wo die Nachrichten von angeblichen wahren Blitzen ohne Donner mitgetheilt und besprochen sind.

Nach Schübler **) ist das Wetterleuchten wahrscheinlich eine unabhängig vom Gewitter sich ereignende, leuchtende Erscheinung, die durch Ausströmung starker Elektricität, ohne elektrischen Gegensatz benachbarter Wolkenmächten veranlaßt wird.

*) Gilbert's Ann. Bd. LXV. S. 212.

**) Dessen Meteorologie. S. 132.

Er findet die Ursache darin, daß an heißen Sommerabenden die höheren Luftschichten mit Eintritt der Nacht schnell tiefer sinken, ihre Electricität bei Annäherung zu den feuchten, tieferen Schichten nicht mehr in sich angesammelt erhalten können und ihre Electricität dann ausstrahlen lassen. Auch T. H. Forster und Matteucci sind der Meinung; daß das Wetterleuchten elektrischer Natur sei. Rämby*) läßt aus Mangel an hinreichenden Erfahrungen, wie er sagt, es unentschieden, wie es sich mit diesem Phänomen verhalten möge. Neuerdings ist der Director der Sternwarte zu Kremismünster A. Reihuber**) dafür aufgetreten, daß das Wetterleuchten stets mit entfernten Gewittern im Zusammenhange stehe. Derselbe giebt eine reichhaltige Zusammenstellung, durch welche er den Beweis zu führen sucht, aus welcher jedoch hervorgeht, daß dann theilweise das Gewitter in einer Entfernung von 61, 64 selbst 68 geographischen Meilen gestanden haben müsse. H. G.

Wetterfäule, s. Wasserhose.

Widder, hydraulischer, s. Stößheber.

Windsahne, s. Anemoskop.

Winde heißen alle mehr oder weniger heftigen Bewegungen der atmosphärischen Luft vom leisesten Wehen bis zum gewaltigen Sturme und Orcale. Man benennt diese Luftströmungen jetzt gewöhnlich nach der Himmelsgegend, aus welcher sie kommen; in bestimmten Fällen erhalten sie jedoch auch nach den besonderen Umständen, unter denen sie auftreten, besondere Namen. So nennt man z. B. den rauhen und kalten Nord- oder Nordostwind, welcher in der Schweiz Bise heißt, im Rhonethale und an den Küsten der Provence Mistral, in Istrien und Dalmatien Bora, in Spanien Gallego. In den frühesten Zeiten unterschied man nur vier Hauptgegenden: Norden, Osten, Süden und Westen, welche durch die Zeit der Tag- und Nachtgleichen ihre nähere Bestimmung erhielten. Später,

im Homerischen Zeitalter, fügten die Griechen noch vier neue Winrichtungen hinzu, welche durch den Sonnen-Auf- und Untergang zur Zeit der Solstitien näher bestimmt wurden. Aristoteles unterscheidet in seiner Meteorologie 12 Winde; die Römer brachten die Zahl auf 24, indem sie in die Mitte von je zweien der zwölf früheren noch je einen einschoben. Jetzt bezeichnet man bei den Windrosen, deren sich die Seeleute bedienen und woron bestehende Abbildung eine Anschauung giebt, die Winde nach den vier Haupthimmelsgegenden und hat ihre Zahl durch



fortgesetztes Halbkreis der von diesen eingeschlossenen Winkel auf 32 gebracht, so daß zwischen je zweien ein Winkel von $11^{\circ} 15'$ liegt.

*) Dessen Meteorologie. Bd. II. S. 481 — 483.

**) Sitzungsberichte der math.-naturw. Klasse der Akad. zu Wien Jahrg. 1858. Bd. XXVIII. Nr. 3. S. 177. Grunert's Archiv der Math. und Physik. Bd. XXXI. S. 258.

Die Ursache, welche die Winde erzeugt, erschien im hohen Alterthume so mysteriös *), daß man sich nicht anders zu helfen wußte, als die Winde selbst zu Söhnen von Göttern oder von Riesen zu machen. Der Boreas oder Aquilo, unser Nord- oder Nordostwind, ebenso der Zephyr oder Favonius, unser Westwind, und der Notos oder Austro, unser Südwind, waren z. B. Söhne des Asträos und der Eos; der Eurus oder Vulturius, unser Südostwind, galt als Sohn des Ipphon. Aeolus, ein Sohn oder Enkel des Hippotes, wurde vom Zeus zum unmittelbaren Vorgesetzten sämmtlicher Winde ernannt, wohnte auf einer schwimmenden und mit ehernen Mauern umgebenen Insel Aeolia und setzte seine Untergebenen aus der Höhle, in welcher er sie für gewöhnlich eingesperrt hielt, je nach eigenem Belieben oder nach den Befehlen, welche ihm selbst von höheren Gottheiten zukamen, in Thätigkeit.

Die Ansichten der Naturforscher des Alterthums: des Aristoteles, Theophrast, Anaxagoras, Anaximander, Lucretius, Seneca, Plinius u. waren zum Theil nicht ohne Scharfsinn, verfehlten jedoch die eigentliche Ursache, den Ursprung der Luftbewegung, wohl besonders deshalb, weil ihre Beobachtungen sich auf ein zu kleines räumliches Gebiet erstreckten, so daß sie zu einer allgemeinen Ansicht nicht hingeleitet werden konnten. Aristoteles z. B. spricht von einer Abhängigkeit der Windrichtung von dem Stande der Sonne, so zwar, daß nach der Zeit der Frühlings-Tag- und Nachtgleiche Südwinde und nach der Herbst-Tag- und Nachtgleiche Nordwinde eintreten und nimmt dabei noch ein besonderes Verhältniß zwischen einem trockenen und nassen Dampfe an. Betrachteten doch selbst noch 1712 Mairan und sogar 1775 Lavoisier **) die Dünste des Wassers als die Grundursache der Winde, „sei es — wie Lestercer sagt —, daß diese Dünste aus Höhlen der Erde oder aus Seen oder aus dem Meere oder aus angehäuften Wolken hervorbrächen.“

So lange die Schifffahrt noch nicht auf die beiden Seiten des Aequator sich erstreckte, Windbeobachtungen nur auf der nördlichen Erdhälfte und auch da nur auf dem östlichen Theile angestellt wurden, war es nicht zu erwarten, daß man wegen der vielfachen Störungen der Gesetzmäßigkeit, welche man in neueren Zeiten auch in größeren Breiten entdeckt hat, eben diese Gesetzmäßigkeit erkannte, noch weit weniger, daß man ihre Nothwendigkeit aus den richtigen Principien hätte ableiten können. Ohne die speciellen Fälle der Windströmungen unter den Tropen war es, wenn nicht ganz unmöglich, doch sicher unendlich schwierig, das allgemeine Gesetz zu ergründen. Die wissenschaftliche Untersuchung der Windverhältnisse konnte also nicht früher, als mit dem 15. Jahrhunderte, dem Jahrhunderte der Entdeckungen, von Erfolg sein.

In den Beschreibungen der Seefahrt, welche den Columbus nach Amerika führte, lesen wir, wie sehr die Begleiter desselben vor der Beständigkeit des Windes erschrafen, welcher sie unaufhaltsam westwärts trieb und ihnen jede Rückkehr unmöglich zu machen schien. Was damals so Schrecken erregend war, sollte bald als erfreulicher Fingerzeig erkannt werden, wissenschaftlich da zu ordnen, wo Ordnung finden zu können, man fast verzweifelte.

*) Ich folge hier dem von mir gehaltenen Vortrage: Wo kommt der Wind her? und Wo geht er hin? Leipzig 1858.

**) Joseph Lavoisier, Witterungslehre, aus dem Italienischen übersetzt von Steudel. Berlin 1784.

Die ausgebreiteteren Seefahrten, welche sich bald über die ganze Erdoberfläche erstreckten, gaben Aufschluß über die Windverhältnisse zwischen den Wendekreisen. Man fand dort Gegenden der Erde, in denen der Wind das ganze Jahr hindurch aus derselben Richtung kommt, so stetig, daß der Steuermann das Steuer Tage lang festbinden kann, oder daß eine Dame das Schiff führen könnte, weshalb man diese Winde auch *Damenwinde* genannt hat. Diese constanten Winde nennen wir *Passatwinde*, die Engländer *trade winds* (*Handelswinde*), die Franzosen *vents alizés* *). Die Gegenden, in welchen man diese Passatwinde antraf, waren namentlich das atlantische Meer und der stille Ocean.

An anderen Orten der Erde weht der Wind mehrere Monate lang aus einer und derselben Himmelsgegend und wird dann für den übrigen Theil des Jahres entweder veränderlich, oder er weht ebenso constant aus einer anderen, der früheren oft entgegengesetzten Himmelsgegend. Diese Art der Winde nennt man *Moussons*, die Engländer *monsoons* **). Dies erinnert unmittelbar an die *etesi-schen Winde* (*Éros*) der Alten, welche auch nichts als *Moussons* sind, wiewohl damit nur die beständigen Winde des Mittelmeeres in den verschiedenen Jahreszeiten — Nord- und Nordwestwinde im Hochsommer, zur Zeit der Hundstage, und südliche Winde während des Winters — bezeichnet wurden, da hingegen die wahren *Moussons*, welche den griechischen Seefahrern unter den Namen *Hyppalos* bekannt waren, sich in dem indischen Ocean finden.

Diese auffallenden Erscheinungen zu erklären, mußte die nächste Aufgabe sein. Der Weg zu dieser Erklärung wurde aber erst wieder gebahnt durch einen noch specielleren Fall, nämlich durch die regelmäßigen *Land- und Seewinde*, die sogenannten *schwachen Winde* oder *Brisen* (engl. *breeze*), welche an einigen Küsten, namentlich zwischen den Wendekreisen, zu verschiedenen Tageszeiten aus oft völlig entgegengesetzten Richtungen wehen, aber doch fast täglich auf dieselbe Art wiederkehren. Auf allen Inseln und an allen Küstengegenden zwischen den Wendekreisen finden wir diese Wechsel zwischen *Land- und Seewinden*, wofür sie nicht durch vorherrschende stärkere Winde ganz oder zum Theil aufgehoben werden. Selbst in milderer Breiten haben wir Gelegenheit, diesen Wechsel noch öfter sehr regelmäßig zu beobachten, z. B. auf Greta, und selbst in ganz Italien scheint derselbe sich zu zeigen, so wie er auch sogar an der Ostsee nicht ganz fehlt. Auch mitten im Lande findet man ihn an größeren Seen, z. B. in der Schweiz, am Griesee in Canada u. a. D. Wofür kein stärkerer Wind in der Gegend der Küste vorherrschend ist, stehen beide Winde senkrecht auf dieser und haben ungefähr gleiche Stärke. Die Seewinde herrschen am Tage und sind zur Zeit der größten täglichen Wärme am stärksten; die Landwinde herrschen des Nachts und treten gegen Sonnenaufgang am stärksten auf. Beide sind in ihrer täglichen Periode durch eine Windstille von einander getrennt.

Die Beziehung dieser Winde zur Sonne läßt sich nicht verkennen, und hierdurch werden wir auf die *Wärme* als das veranlassende Princip hingewiesen. Der feste Erdboden wird durch die Sonnenstrahlen schneller erwärmt, als das flüssige Wasser, kühlt sich aber auch schneller ab als dieses; bei Tage wird mithin

*) Aus einem alten französischen Worte *alis*, welches regelmäßig oder einformig (*anrégulier*, *uniforme*) bedeutet, oder aus *Elizien* entstanden, welches bei den Alten Winde bezeichnete, die zu einer gewissen Jahreszeit sich beständig einstellen.

**) Von dem malayischen Worte *musson*, welches Jahreszeit bedeutet.

die Luft über dem Lande mehr erwärmt, als die über dem Meere, steigt, da sie hierdurch leichter wird, empor, und Folge hiervon ist ein Zufließen der kälteren Luft von dem Meere nach dem Lande. Da bei der größten Erwärmung der aufsteigende Luftstrom selbstredend auch am stärksten ist, so muß dann auch der Seewind die größte Kraft äußern. Nach Sonnenuntergang hört die Erwärmung auf, eine Abkühlung der Luft über dem Lande sowohl, wie über dem Wasser tritt ein, jene erfolgt aber schneller, und so nimmt die Stärke des Seewindes immer mehr ab, bis völlige Windstille eintritt. Die noch fortdauernde Abkühlung bewirkt endlich, daß die Luft über dem Lande kälter, als die über dem Wasser wird; über diesem ist dann ein aufsteigender Luftstrom und der Wind weht folglich nun vom Lande zur See, d. h. es herrscht ein Landwind, der bis gegen Sonnenaufgang immer mehr an Stärke wächst, weil bis dahin die Abkühlung ununterbrochen anhält. Nach Sonnenaufgang erfolgt wieder eine Erwärmung, da aber die Luft über dem Lande sich in ihrer Temperatur schneller erhöht, als die über dem Wasser, so nimmt der Landwind an Stärke ab, bis eine Windstille eintritt, auf die dann wieder der Seewind folgt.

Diese Erklärung steht so fest, wie die des Luftzuges in einer zwei Räume von verschiedener Temperatur verbindenden Thür, in welcher bekanntlich, wie der Versuch mit einer Kerzenflamme veranschaulicht, unten die kältere Luft nach dem wärmeren Raume ein- und oben die wärmere nach dem kälteren ausströmt. Rämz *) erläutert den Hergang bei den Land- und Seewinden sehr passend dadurch, daß er, um das Phänomen in seiner einfachsten Gestalt zu behandeln, in dem Aequinoctialmeere eine Insel von der Form eines Kreises annimmt, auf welche kein anderer, weiter verbreiteter Wind einwirkt. Die Winde wehen hier ringsherum senkrecht auf die Küste. Den Seewind veranschaulicht auch der Luftstrom, der sich bei einem im Freien angezündeten Feuer einstellt, und — wenn sonst ruhige Luft ist — von allen Seiten nach dem Feuer hingezogen ist. Dove **) analogisiert die Erscheinung der Land- und Seewinde mit einem Rade, welches sich zwei Mal des Tages in entgegengesetzter Richtung dreht und zwei Mal still steht.

Zeigen uns so die Brisen die Wärme, indem sie einem aufsteigenden Luftströme veranlaßt, als das widerregende Princip, so liegt es nahe den Ursprung der Passate eben daher zu leiten. Wir werden jedoch sogleich sehen, daß dies Moment allein zur Erklärung nicht ausreichend ist.

Die Verhältnisse der Passatwinde sind im Allgemeinen folgende. Wir finden nördlich vom Aequator Nordostwind, südlich Südostwind, welche beide, je näher dem Aequator, immer mehr in Ostwinde übergehen und da, wo sie sich begegnen, von einem ruhigen Gürtel getrennt werden, welcher bei den Seeleuten die Gegend der Windstillen (calmes) oder der Veränderlichen heißt und wegen der fortwährend mit Windstillen abwechselnden, von Stürmen begleiteten Gewitter fürchterlich ist. Diese Passate, an welche sich in größerer Entfernung vom Aequator auf der nördlichen Seite ein Südwestwind, auf der südlichen ein Nordwestwind anschließt, ändern ihre Lage mit dem Gange der Sonne, rücken vor- und rückwärts und zwar so, daß einige Orte stets in dem Nordost- oder Südost-Passate bleiben, an anderen die Gegend der Windstillen und die Zone

*) Lehrbuch der Meteorologie, Bd. I. S. 168.

**) Meteorologische Untersuchungen. Berlin 1837. S. 280.

der Passate in einander eingreifen. Hier herrscht eine Zeitlang constanter Passat (Zeit der Sonnen), dann wechselt dieser mit der Windstille (Zeit der Wolken). Diese ausgesetzten Passate nennt man intermittirende Winde. Ferner wird durch diese Ortsveränderung des Gürtels der Windstillen der eine Passat an Orte geführt, wo vorher der andere wehte; und endlich giebt es Orte, welche während des einen Theiles des Jahres unter dem einen Passate liegen, in der anderen Zeit aber ganz außerhalb dieser Erscheinungen in den die Passate einschließenden Winden sich befinden. In den beiden letzteren Fällen herrschen sogenannte alternirende Winde.

Besonders ist der Fall, wo die Passate unter einander abwechseln, zu beachten, weil für den ersten Blick die Erscheinung gar nicht in einem solchen Wechsel zu bestehen scheint, indem nicht sowohl auf den Nordostpassat ein Südost folgt, sondern ein Südwest, und auf den südlichen Südostpassat kein Nordost, sondern ein Nordwest, so daß die Winde also aus entgegengesetzten Richtungen wehen.

Die Gegend der Windstillen hat nach d'Après *) im atlantischen Ocean zur nördlichen Grenze folgende Breite, d. h. der Nordost-Passat hört in der Nähe des Aequators auf:

im Januar und Mai zwischen	6° und 4° n. Br.
• Februar.	3 5 . . .
• März und April . . .	5 2 . . .
• Juni	bei 10
• Juli, Aug., Septbr. zwischen	13 14 . . .

Seller gab 1875 folgende Grenzen des Nordost-Passat und zugleich die Richtungen des dem Nordost entgegenwehenden Südost-Passat:

im Jan., Febr., März 4° n. Br., wo der SO. und O. anfängt	
• April	5 . . . SO.
• Mai	6 . . . SO. etwas südlich
• Juni	8 . . . S.
• Juli	10 . . . S.
• August	11 . . . S. etwas westlich
• September	10 . . . S.
• October	8 . . . S. etwas östlich
• November	6 . . . SO.
• December	5 . . . SO.

Hierbei ist besonders darauf aufmerksam zu machen, daß der Südost-Passat um so mehr südlich und südwestlich wird, je weiter er über den Aequator nördlich hinaufrückt. Aus beiden Angaben sehen wir überdies, — was freilich nicht absolut richtig ist — daß die Gegend der Windstillen das ganze Jahr hindurch auf der nördlichen Seite des Aequators liegt. Nach Seller sind ferner die veränderlichen Winde zwischen beiden Passaten im nördlichen Theile mehr zwischen N. und NO. (nicht Ost), im südlichen zwischen S. und SO. Die genauesten und vollständigsten Bestimmungen der inneren Grenze der beiden Passate verdanken wir H or s b u r g h, welcher sie aus den Angaben von 149 Schiffen, die aus dem NO. in den SO.-Passat gingen, und von 88, welche aus jenem in diesen kamen, zwischen 18° und 26° w. L. bestimmt hat. Sie sind in folgender Tabelle enthalten:

*) Dove, a. a. O. S. 253.

Innere Grenzen der Passate.

	Einfahrt. NO-Passat hörte auf		Gefahrt. NO-Passat fing an		Gefahrt. SO-Passat hörte auf		Einfahrt. SO-Passat fing an		Mittlere Bestimmung aus Ein- und Gefahrt		
	nördliche Breite zwischen	im Mittel bei	nördliche Breite zwischen	im Mittel bei	zwischen	im Mittel bei n. Br.	nördliche Breite zwischen	im Mittel bei	nördliche Grenze des NO-Passat	nördliche Grenze des SO-Passat	Breite des Gürtels zwischen beiden Passaten.
Januar . . .	30° — 10°	7°	30° — 60°	4 1/2°	1/2° — 40° N.	2 1/2°	20° — 40°	30°	30° 45'	20° 45'	30°
Februar . . .	5 — 10	7	2 — 7	5	2 S. — 3	1 1/2	1/2 — 1	1	6	1 15	4 45'
März . . .	2 1/2 — 8	5 1/2	2 — 7	5	1 S. — 2	1	1/2 — 2 1/2	1 1/2	5	1 15	3 45
April . . .	4 — 9	6	4 — 8	5 1/2	2 S. — 2 1/2	1	0 — 2 1/2	1 1/2	5 45	1 15	4 30
Mai . . .	5 — 10	7	4 1/2 — 7	6	1 N. — 4	2 1/2	0 — 4	3	6 30	2 45	3 45
Juni . . .	7 — 13	9	7 — 12	9	1 — 5	3	0 — 5	3	9	3	6
Juli . . .	8 1/2 — 15	12	11 — 14	12	1 — 6	4	1 — 5	3	12	3 30	8 30
August . . .	11 — 15	13	11 — 14	13	3 — 5	4	1 — 4	2 1/2	13	3 15	9 45
September . . .	9 — 14	11 1/2	11 — 14	12	2 — 4	3 1/2	1 — 3	2	11 45	3	8 45
October . . .	7 1/2 — 13	10	8 1/2 — 14	10	2 — 5	3	1 — 5	3	10	3	7
November . . .	6 — 11	9	7	7	3 — 4	3 1/2	3 — 5	4	8	3 45	4 15
December . . .	5 — 7	6	3 — 6	7	1 — 4	1 1/2	1 — 4 1/2	4	5 30	3 15	2 15

Nach Basil Hall ist die Gegend der Windstillen im atlantischen Ocean im September am breitesten (550 Meilen), im December und Januar am schmalsten (150 Meilen), während die Aenderungen ihrer Breite im stillen Ocean viel unbedeutender sind. Die Mittel aus den Monaten geben für die Grenzen in den Jahreszeiten folgendes Resultat:

	Grenze des NO-Passat.	Grenze des SO-Passat.	Breite der Zwischenzone.
Winter. . .	5° 45'	2° 25'	3° 20'
Frühling . .	5 47	1 45	4 2
Sommer . .	11 20	3 15	8 5
Herbst . .	9 55	3 15	6 40
Jahr . . .	8° 12'	2° 20'	5° 52'

Im stillen Ocean scheinen die inneren Grenzen der Passate geringeren Veränderungen in der jährlichen Periode unterworfen zu sein, und überdies die Gegend der Windstillen ziemlich symmetrisch auf beiden Seiten des Aequator zu liegen.

Die äußere Grenze der Passate, d. h. die Entfernung vom Aequator, bis zu welcher die Passate sich erstrecken, liegt für den Nordost-Passat im atlantischen Ocean im Mittel in 28° und im stillen Ocean in 25° n. Br. Die äußere, d. h. südliche Grenze des Südost-Passat ist noch zu wenig bestimmt.

Nach dem Bekanntwerden der Erscheinungen, welche die Passate zeigen, wurden verschiedene Erklärungen versucht. Bacon von Verulam *) äußerte zwei verschiedene Ansichten und sagte, die Ursache könnte die sein, daß die Luft wie der Himmel bewegt wird, außerhalb der Tropen gleichsam unmerklich wegen der kleineren Kreise, innerhalb merklich wegen der größeren Kreise, die sie beschreibt, oder die Wärme dehnt die Luft aus und läßt sie nicht an derselben Stelle, dann entsteht aber ein Stoß auf die danebenliegende Luft, und so wie die Sonne vorrückt, wird der Luftstrom erzeugt, der unter den Tropen, wo die Sonne brennender ist, stärker und merklicher sein muß, als außerhalb. Galiläi **) macht die erste Ansicht zu der feintigen; Barentius ***) erörtert die zweite näher. Descartes suchte, wie d'Alembert ausführlich erörtert ****), die Ursache in einem Einflusse des Mondes. Auch Halley's Erklärung im Jahre 1686 ist nicht richtig, sondern erst Hadley hat dieselbe 1735 geliefert; durch eine Namensverwechslung ist jedoch vielfach die letztere richtige Erklärung unter dem Namen Halley's bekannt geworden.

Nach Halley's Theorie *****) ist die wärmende Wirkung der Sonne die einzige Ursache der Passate, des NO. auf der nördlichen, des SO. auf der südlichen Halbkugel. Nach demselben ist der Hergang ungefähr folgender:

*) Historia ventorum. Opes. ed p. 446.

**) De systemate mundi dialog. 4. p. 421. ed. 1700.

***) Geographia generalis, l. I. cap. 20.

****) Reflexions sur la cause générale des vents. Berl. 1746.

*****) Phil. trans. 1686. No. 183. p. 152, auch in: Miscellanea curiosa: Containing a collection of some of the principal Phaenomena in nature 3 vol. Lond. 1726. Vol. I. p. 61. Die Abhandlung führt die Ueberschrift: An historical account of the Trade-Winds and Monsoons observable in the seas between and near the Tropick, with an attempt to assign the physical cause of the said Winds.

Denken wir uns, um alle Störungen zu beseitigen, einen Augenblick die Erde völlig mit Wasser bedeckt und die Sonne in dem Aequator; nehmen wir ferner in einiger Entfernung von dem Aequator mit ihm parallel auf jeder Seite eine Wand an, durch welche das Zufließen der Luft von der nördlichen und südlichen Erdhälfte zu der zwischen diesen Wänden befindlichen Luftmasse verhindert würde; — so würde zwischen diesen Wänden ein reiner Ostwind entstehen, weil bei der täglichen Bewegung der Sonne die Luft dieser nachströmt, und da bei jeder Umdrehung sich die Wirkung wiederholt, so würde endlich diese Luft in ihrer ganzen Masse in continuirliche Bewegung gerathen. Lassen wir nun die vorausgesetzten Wände fort, so strömt von jeder Seite des Aequator die Luft nach diesem, weil der Aequator der heißeste Gürtel ist und die kältere Luft in die wärmere und darum verdünnte eindringt. Durch dieses Zusammentreffen des Ost und Nord auf der Nordseite des Aequator entsteht nun eine mittlere Windrichtung Nordost, und auf der südlichen Erdhälfte ebenso aus Süd und Ost ein Südostwind.

Auf eine vollständige, ausführliche Widerlegung dieser Theorie einzugehen, dürfte kaum nöthig sein, da ihre Mangelhaftigkeit längst zugegeben ist. Es sei daher nur bemerkt, daß Halley allerdings den Nordost-Passat auf der nördlichen und den Südost-Passat auf der südlichen Halbkugel erklärt, daß diese Theorie jedoch nicht auf eine Gegend der Windstillen zwischen beiden Passaten, sondern auf einen dort herrschenden Ostwind führt. In diesem Punkte stimmt also die Halley'sche Theorie schon nicht mit der Erfahrung überein; überdies erscheint dieselbe nicht einmal theoretisch wahrscheinlich. Nehmen wir nämlich die Sonne in einem Punkte des Aequator still stehend an, so würde der wärmste und kälteste Punkt der Erde in dem Durchmesser liegen, welcher verlängert durch die Sonne geht. Nach dem wärmsten Punkte würde dann von allen Seiten her die Luft strömen. Denken wir nun die Sonne ihren scheinbaren Lauf beginnen, so ist es doch unwahrscheinlich, daß die Wirkung der Erwärmung unter dem heißesten Punkte noch nach 12 Stunden, also in der Nacht stattfindet und anhalte; ist dies aber nicht der Fall, so liegt die heißeste Stelle in der Morgenstunde östlich und ein Westwind müßte die Folge hiervon sein. Somit hätten wir täglich einen Wechsel zwischen zwei entgegengesetzten Winden, nämlich in den Nachmittagsstunden einen Ostwind und in den Morgenstunden einen Westwind. Wir gerathen also auch auf diesem Wege mit der Erfahrung in Widerspruch.

Halley *) nimmt auf die erwärmende Wirkung der Sonne wie Halley Rücksicht, außerdem dient aber die unter den verschiedenen Breiten ungleiche Drehungsgeschwindigkeit der Erdoberfläche als Basis. Wegen der größeren Erwärmung am Aequator und der dadurch herbeigeführten Ausdehnung der daselbst befindlichen, nun emporsteigenden Luft strömt nämlich die Luft von der Nord- und Südseite nach dem Aequator hin, erfährt aber eine Ablenkung von Nord in Nordost und von Süd in Südost dadurch, daß diese Luft von langsamer nach Osten hin rotirenden Punkten nach schneller sich bewegenden kommt, und nun gegen die Luft, in welche sie einströmt, westwärts zurückbleibt, d. h. nicht mehr aus Nord, sondern aus Nordost, ebenso nicht aus Süd, sondern aus Südost weht. — Ein Ort unter 50 Grad Breite beschreibt bei der in 24 Stunden sich vollziehenden Umdrehung der Erde einen kleineren Kreis, als ein Ort unter 40 Grad Breite, die Geschwindig-

*) Phil. Transact. 1735. T. XXXIX. p. 58. The cause of the general Trade-Wind.

keit jenes Ortes ist also in der Richtung von Westen nach Osten kleiner, als die Geschwindigkeit dieses Ortes. Nach dem Geetze von dem Beharrungsvermögen der Körper sucht die Luft, welche vom 50. Grade nach dem 40. Grade hinströmt, ihre geringere Geschwindigkeit zu behalten, d. h. sie kommt nicht so schnell ostwärts, als der Ort unter 40 Grad Breite, bleibt mithin westlich zurück und ihre Richtung wird auf der nördlichen Halbkugel mehr nordöstlich, auf der südlichen mehr südöstlich. — Die Passate sind also eine Folge der größeren Erwärmung unter dem Aequator und der Umdrehung der Erde.

Dieser Theorie gemäß hat Basil Hall *) die Gegend der Windstillen specieller als eine Nothwendigkeit nachgewiesen. Nach Hadley wäre statt der windstillen Gegend, welche beide Passate trennt, eher ein Ostwind zu erwarten gewesen. Basil Hall macht nun darauf aufmerksam, daß die Rotationsgeschwindigkeit je näher dem Aequator von Grad zu Grad eine immer kleinere Differenz zeigt, daß die dem Aequator zufließende Luft deshalb, und da sie durch die Berührung mit dem Boden immer mehr an Geschwindigkeit verliert, endlich die Rotationsgeschwindigkeit der Erde vollkommen annehmen wird. Der NO-Passat erhält dadurch eine mehr nördliche und der SO-Passat eine mehr südliche Richtung; Folge hiervon ist aber ein gegenseitiges Stauen, und es entstehen die Windstillen, unterbrochen von Gewittern, weil alle von den Passaten mitgeführten Dünste hier angehäuft werden.

Die in diesem Gürtel emporsteigende, in der Höhe abfließende Luft strömt von dem Aequator wieder nord- und südwärts ab, kommt aus größeren Breitenkreisen in kleinere, folglich aus Gegenden größerer Rotationsgeschwindigkeit in solche von kleinerer, eilt darum ostwärts voraus und zeigt sich aus den oberen Gegenden herabkommend auf der nördlichen Halbkugel als Südwest-, auf der südlichen als Nordwestwind.

Thatsächliche Beweise für dies obere Abströmen in der angegebenen Richtung hat man in sehr schlagender Weise gefunden. Bei dem Besteigen des Pic von Teneriffa hat man im Sommer oben den heftigsten Südwestwind gefunden, während unten der Nordost-Passat herrschte. Rückt die Gegend der Windstillen südwärts, so kommt endlich Teneriffa ganz in den Südwest zu liegen; rückt die Gegend der Windstillen nordwärts, so findet sich unten am Fuße des Pic wieder der Nordost-Passat ein und der Südwestwind steigt zu höheren Regionen. Leopold v. Buch hat in seinen Bemerkungen über das Klima der canarischen Inseln dies allmälige Herabkommen des Südwestwindes am genauesten beobachtet und geschildert **). In der Nacht vom 31. April zum 1. Mai 1812 hörte man ***) auf Barbados Explosionen, wie von schwerem Geschütz, so daß die Garnison vom Fort St. Anna unter dem Gewehre blieb. Am 1. Mai bei Tagesanbruch sah man die östliche Seite des Horizontes hell, den ganzen übrigen Theil des Himmels deckte eine schwarze Wolke, die bald auch jene Stelle umzog, und nun wurde es so dunkel, daß man in den Zimmern nicht die Stelle der Fenster zu unterscheiden vermochte, während die Bäume unter der Last eines herabfallenden Nischenregens brachen. Woher kam diese Nische? Nach der Richtung des im April und Mai unausgesetzt

*) Fragments of Voyages and Travels second Series vol I. p. 163. Lond. 1832.

**) Dove, a. a. O. S. 270.

***) Ebenda S. 38.

wehenden Passats hätte man auf den Pic der Azoren schließen sollen, und doch war es Asche aus dem Vulkan Morne Garou des 20 Meilen westlich liegenden St. Vincent, welches durch den Passat so von Barbados geschieden ist, daß nur ein sehr großer Umweg die Reise möglich macht. Der Vulkan hatte nämlich seine Asche durch den unteren in den oberen Passat geschleudert. Ein ferneres Beispiel bot am 20. Januar 1835 der Ausbruch des Cosiguina dar, welcher die ganze Landenge von Mittelamerika erschütterte. Zu Kingston und an anderen Orten auf Jamaika fiel Asche herab, die nur durch den oberen Passat herbeigeführt sein konnte, da Jamaika nordöstlich von Nicaragua liegt. Ein Theil der Asche fiel gleichzeitig auf das Schiff Conway, welches sich 700 engl. Meilen in südwestlicher Richtung vom Cosiguina befand. Diese Asche konnte nur von dem oberen Nordwestwinde dahin geführt sein, und somit erhalten wir hierdurch zugleich einen Beleg dafür, daß die in der Gegend der Windstillen aufsteigende Luft oben nach beiden Seiten abfließt.

Die Haupterscheinungen unter den Tropen ergeben sich aus Hadley's Theorie somit ohne Schwierigkeit. Hadley zeigte sogar die mechanische Nothwendigkeit dieser Erscheinungen. Die nach dem Aequator strömende Luft nämlich wird, da sie als Nordost und Südost gegen die von Westen nach Osten sich drehende Erde strömt, durch ihre Reibung an der Erdoberfläche die Rotationsgeschwindigkeit der Erde verringern, so daß die Zeit des Sterntages länger werden müßte. Dies geschieht nicht; es muß also dieser Verlust an Rotationsgeschwindigkeit durch einen Impuls in der Rotationsrichtung der Erde wieder ausgeglichen werden, und dieser Impuls erfolgt eben durch den von oben zurückströmenden Südwest und Nordwest, indem diese den Passatwinden entgegengesetzt wirken.

Um den Unterschied der Halley'schen und Hadley'schen Theorie recht klar hervorzuheben, macht Dove folgende Annahmen:

1) Es sei die Erde ein unter dem erwärmenden Einflusse der Sonne rotirender gerader Cylinder. Dann müßten nach Halley die Passate nach Nordost und Südost bleiben; nach Hadley könnte aber die nach dem Aequator strömende Luft nur Nord- und Südwind sein, weil kein Unterschied in der Rotationsgeschwindigkeit vorhanden wäre.

2) Es sei die Erde feststehend und die Sonne bewege sich um dieselbe. Nach Halley würde der Erfolg derselbe sein, nämlich Nordost- und Südost-Passat; nach Hadley kann aber die Erscheinung der Passatwinde sogar als ein Beweis für die Aendrehung der Erde angesehen werden.

Daß Hadley in der That die richtige Theorie aufgestellt hat, geht endlich aus der Erklärung der Moussons hervor, die aus Halley's Theorie nicht gelingen will.

Die empirischen Belege für die Moussons hat Dove *) zusammengestellt. Im Allgemeinen ist die Erscheinung die, daß im indischen Oceane, im südlichen Asien, namentlich Arabien, Persien und Ostindien vom October bis April Nordostwind und vom April bis October Südwestwind herrscht, zur Zeit des Ueberganges an einigen Orten durch Windstillen, an anderen durch veränderliche Winde von einander getrennt. Nach 21-jährigen Beobachtungen von Goldingham aus Madras dauert der NO-Mousson daselbst vom 19. October bis zum 2. März;

*) A. a. O. S. 264.

sein Anfang varürt aber vom 29. September bis Anfang November. In Anjarandh an der Küste Malabar begann der Südwest-Mousson nach Beobachtungen von Brown

1810 den 20. Mai.	1817 den 26. Mai.
1811 " 31. "	1818 " 5. Juni.
1812 " 31. "	1819 " 9. Mai.
1813 " 27. "	1820 " 26. "
1814 " 15. Juni.	1821 " 16. Juni.
1815 " 21. Mai.	1822 " 2. "
1816 " 18. Juni.	1823 " 6. "

Nach L. v. Buch *) sollen die Südwest-Moussons nichts weiter sein, als der von oben herabkommende von der Gegend der Windstillen ausgehende Südwestwind. Dem widerspricht schon das Auftreten nach den Monaten; denn da vom October bis April der Nordost-Passat am weitesten südlich rückt, so würde dies die Zeit sein, zu welcher der Südwestwind in diesen Gegenden herabkommen müßte, es tritt dieser Wind aber gerade zu der Zeit ein, in welcher der Nordost-Passat am weitesten nördlich liegt.

Nach Hadley erklärt sich die Erscheinung einfach in folgender Weise.

Nehmen wir an, daß die Gegend der Windstillen ganz auf die nördliche Seite des Aequator rückt und selbst der südliche Passat, der Südost-Passat, die Linie überschreite bis zu einer Gegend, in welcher zu einer anderen Jahreszeit der Nordost-Passat herrscht. Dann kommt beim Ueberschreiten des Aequator der Südost-Passat aus größeren Breitenkreisen zu kleineren; es tritt also bei ihm das ein, was bei der aus der Gegend der Windstillen oben nordwärts abströmenden Luft bereits hervorgehoben ist, d. h. der Luftstrom eilt nun ostwärts voraus, der Südost-Passat biegt um, wird erst Südwind, endlich sogar Südwestwind.

Es ist also eine reine Folge der Rotation der Erde, daß an Orten mit Nordost-Passat auf diesen, freilich durch eine Zeit der Windstillen getrennt, ein Südwestwind folgt, welcher aus dem Südost-Passate der südlichen Erdhälfte entstanden ist. Ebenso würde auf der südlichen Halbkugel der in diese übergehende Nordost-Passat in Nordwestwind übergehen und mit dem dortigen Südost-Passate abwechseln können. Und so ist es in der That auf der südlichen Halbkugel und zwar bei Neuhollland; denn dort wird zur Zeit des dortigen Sommers durch die Erwärmung Neuholllands der Nordost-Passat über den Aequator nach Süden gezogen und in einen Nordwestwind umgewandelt, wie auf der Nordseite des Aequators zur Zeit des dortigen Sommers durch die Erwärmung des asiatischen Festlandes der Südost-Passat bei seinem Ueberschreiten des Aequator ein Südwestwind wird.

Die gegebene Darstellung gründet sich im Ganzen auf die Voraussetzung einer ganz mit Wasser bedeckten Erde. Es versteht sich indessen von selbst, daß namentlich durch die verschiedene Gestaltung der Meere und der benachbarten Ländermassen mannichfache Abänderungen, Störungen der allgemeinen Regel, eintreten werden, wie wir eben den Einfluß des asiatischen Festlandes und des australischen Continents in Betracht gezogen haben. Wir wollen hier wenigstens

*) Pogg. Ann. Bd. XV. S. 359.

noch auf den Einfluß hindeuten, den das im Westen des indischen Oceans liegende Afrika auf die Richtung der Mouffons ausüben muß.

Bei der Erklärung der Windverhältnisse in den Tropen war man seit Hadley stehen geblieben. Erst in der neuesten Zeit ist — abgesehen von einzeln stehenden Andeutungen und Aussprüchen von Aristoteles, Plinius, Kant u. A *) — durch Dove in Berlin auch über die Windverhältnisse in den außertropischen Gegenden Licht verbreitet worden. Dieser stellte das nach ihm benannte Drehungsgesetz auf, welches die Erscheinungen zwischen den Tropen als besondere Fälle einschließt, so daß durch ihn diese Disciplin einen wesentlichen Schritt zur Generalisation gethan hat. Sein Hauptsatz lautet:

Die regelmäßigen Erscheinungen der Winde in den Tropen, die Passate und Mouffons, und die verwickelten Verhältnisse der gemäßigten und kalten Zone sind notwendige und einfache Folgen derselben physikalischen Grundbestimmungen.

Das Drehungsgesetz selbst ist folgendes:

Auf der nördlichen Halbkugel dreht sich der Wind im Mittel im Sinne S. W. N. O., auf der südlichen im entgegengesetzten S. O. N. W.

Die Nothwendigkeit dieses Gesetzes zeigte Dove theoretisch unter der Annahme, daß Aequatorial- und Polarströme mit einander wechseln, diese Ströme aber bei ihrem Fortschreiten in Orte verschiedener Rotationsgeschwindigkeit kommen **). Zur Bestätigung lieferte er aus einem Zeitraume von ungefähr drittheil hundert Jahren aus den verschiedensten Gegenden, namentlich von der nördlichen Halbkugel, eine nicht unbedeutende Zusammenstellung von Beobachtungen, und dadurch machte er es höchst wahrscheinlich, daß er wirklich das Gesetz gefunden habe, welches noch fehlte, um alle Windverhältnisse unter einem Gesichtspunkte zusammenzufassen. Seitdem hat sich das Beobachtungsmaterial sowohl auf der nördlichen als südlichen Halbkugel bedeutend vermehrt; ich selbst habe auch in dem Programme der Frankfurter höheren Bürgerschule von 1839 aus den zu Berlin von Mädlar angestellten Beobachtungen aus den Jahren 1831 — 1835 die Winddrehung für Berlin durch Summirung der Octanten berechnet und sogar durch diese — im Grunde einen minder genauen Anhalt gewährenden Data — im jährlichen Mittel 347,2 für das Gesetz sprechende Octantendrehungen und 277,8 entgegengesetzte, also einen dem Gesetze günstigen Ueberschuß von 69,4 Octanten oder 8,7 vollständigen Drehungen gefunden. Außerdem zeigten sich im jährlichen Mittel 11,2 ununterbrochen vorwärts gehende Drehungen, d. h. ohne Zurückspringen des Windes, und nur 3 zurückgehende. Das Ergebniß der Dove'schen Zusammenstellung ist ein äußerst günstiges gewesen, so daß die Wichtigkeit

*) Pogg. Ann. Bd. LXVII. S. 307.

**) Dove's meteorologische Untersuchungen. Berlin 1837. Die 1827 in Pogg. Ann. Bd. XI. S. 545 gegebene Erklärung ergab sich nicht ausreichend und ist von ihm selbst 1835 ebenda Bd. XXXVI. S. 321, desgl. 1841 Bd. LII. S. 15, und nochmals 1846 Bd. LXVII. S. 300 zurückgenommen und berichtigt worden.

des Drehungsgeſetzes ſetzt keinen Zweifel mehr unterliegen möchte, wenn gleich nicht zu verkennen iſt, daß ſich die Regelmäßigkeit nur im Großen und Ganzen bei den Uebergängen der Windrichtungen in einander offenbart.

Gehe ich zu der Ableitung, welche Dove von ſeinem Geſetze giebt, über, möchte es zweckmäßig ſein, den Nachweis zu führen, daß die Paſſate und Mouſſons wirklich in jenem Geſetze als ſpecielle Fälle enthalten ſind.

Das Drehungsgeſetz gründet ſich auf einen Wechſel zwiſchen Aequatorial- und Polarſtrömen. Setzen wir dieſen Wechſel = Null, ſo erhalten wir 2 Fälle, erſtens nur einen Polarſtrom, zweitens nur einen Aequatorialſtrom. In beiden Fällen giebt es keine vollſtändige Drehung, ſondern nur eine der Entfernung des Beobachtungsortes von der äußeren Grenze des Stromes proportionale unveränderte Ablenkung, welche ſich nur durch die Veränderung jener Grenze in den Jahreszeiten etwas modificirt. Ein einfacher Polarſtrom giebt nun die Paſſate Nordoſt und Südöſt; ein einfacher Aequatorialſtrom die von oben herabkommenden Südweſt- und Nordweſtwinde.

Nehmen wir einen, einzigen jährlichen Wechſel zwiſchen dem Polar- und Aequatorialſtröme an, ſo erhalten wir die Mouſſons.

Zwei Wechſel würden den Fall ergeben, wo die Paſſate unter einander und mit dem von oben herabkommenden Ströme abwechſeln. Noch öftere Wechſel würden uns in die außertropiſchen Gegenden führen, für welche eben das Dove'sche Drehungsgeſetz beſonders gelten ſoll.

Wegen des vollſtändig geführten theoretiſchen Nachweiſes des Geſetzes müſſen wir auf die angeführten Quellen verweiſen; es wird an dieſer Stelle genügen den Nachweis in den Hauptzügen anzudeuten.

Denken wir uns einen Beobachter in dem 40. Grade n. Br., und nehmen wir an, daß die Luſt zwiſchen dem 40. und 60. Grade ſüdwärts getrieben werde. Durch die größte Rotationsgeſchwindigkeit der Erde im 44., 43., 42., 41. Grade — (ſetzen wir die Rotationsgeſchwindigkeit unter dem Aequator = 1000, ſo iſt ſie unter 40° = 766, unter 50° = 643, unter 60° = 500) — wird die aus dem 45. Grade kommende Luſt nicht als Nordwind, ſondern ſchon weſtwärts abgelenkt, etwa als Nord-Nordöſtwind im 40. Grade anlangen; die von dem 50. Grade ausgehende Luſt erleidet eine noch größere Ablenkung, zeigt ſich vielleicht ſchon als Nordöſtwind im 40. Grade; ebenſo die aus dem 55. Grade bereits als Öſt-Nordöſtwind — kurz ein Beobachter im 40. Grade hat eine Erſcheinung, als ob ſich der Wind aus N. durch NNO. in NO. und weiter in ONO. drehe, bis der Strom eine vollkommen öſtliche Richtung hat und nun in dem 40. Grade als Öſtwind weht, ohne durch die Rotation der Erde weiter abgelenkt zu werden, weil er nun nicht mehr in Orte verſchiedener Rotationsgeſchwindigkeit gelangt. Ebenſo würde ſich auf der ſüdlichen Halbkugel der ſüdliche Polarſtrom durch SSO. in SO. und weiter in OSO. drehen und zuletzt ebenfalls in O. übergehen.

Strömt nun noch fortwährend Luſt nach dem angenommenen 40. Grade nördlicher Breite, ſo wird der entſtandene Öſtwind auf den Polarſtrom hemmend wirken, und durch dieſe Hemmung wird die Luſt — zumal durch Reibung die Geſchwindigkeit ebenfalls gemindert wird — bald die Rotationsgeſchwindigkeit des Ortes annehmen, über welchem ſie ſich befindet, d. h. die Luſt gelangt zu dieſem Orte in relative Ruhe. Hört das Nachdringen der noch nördlicher liegenden Luſt

nicht auf, so wird dieser Polarstrom sich an einer anderen Stelle, an welcher sich ihm kein Hinderniß entgegenstellt, einen Durchfluß suchen.

Wie ein einzelner Polarstrom sich auf der nördlichen Halbkugel von N. durch NO. in O. dreht, so würde auch ein einzelner Aequatorialstrom auf der nördlichen Halbkugel seine südliche Richtung durch SW. in W. ändern, und auf der südlichen Halbkugel aus N. durch NW. sich ebenfalls in W. verwandeln, bis bei fortwährendem Zufließen durch ein gleiches Stauen der West zu dem Beobachtungsorte ebenfalls in Ruhe gelangt. Sollte in diesem Falle der Aequatorialstrom noch andauern, so wird er sich ebenfalls an einer anderen Stelle einen Durchfluß bahnen.

Auf diese Weise hätten wir bereits auf der nördlichen Halbkugel die Drehung in dem einen Viertelskreise der Windsfahne von N. durch NO. in O., in dem gegenüberstehenden von S. durch SW. in W.; ebenso auf der südlichen Halbkugel von S. durch SO. in O. und von N. durch NW. in W., wie es das Dove'sche Drehungsgesetz ausspricht.

Setzen wir nun den Fall, daß auf den in Ostwind übergegangenen Polarstrom da, wo derselbe zur Ruhe gekommen ist, ein Aequatorialstrom stößt, so wird dieser hier eindringen, der an einer anderen Stelle aber durchgebrochene Polarstrom seine Drehung noch weiter fortsetzen, und gerade weil auf der nördlichen Halbkugel der Aequatorialstrom aus S. durch SW. in W. übergeht, seinerseits an der Durchbruchstelle und den südlicher gelegenen Stellen aus O. in SO. und S. übergehen. In gleicher Weise würde der Aequatorialstrom an seiner Durchbruchstelle, nachdem er schon W. geworden ist, sich weiter durch NW. in N. umwandeln. Auf diese Weise erhielten wir auf der nördlichen Halbkugel eine vollständige Drehung des Windes in allen vier Quadranten der Windrose in dem Sinne des Drehungsgesetzes. An sich klar ist, daß ein Gleiches auf der südlichen Halbkugel, jedoch im entgegengesetzten Sinne, eintreten muß.

Betrachten wir nun den Fall noch specieller, in welchem ein Strom in den anderen eindringt, so werden wir zugeben müssen, daß sich an den Seiten des eindringenden Stromes Wirbel bilden, welche entgegengesetzte Drehung haben. Der eine dieser Wirbel wird im Sinne des Dove'schen Drehungsgesetzes erfolgen, und an den Orten, welche in ihm liegen, wird also eine vollständige Drehung im Sinne des Drehungsgesetzes eintreten, wenn wir den Mittelpunkt des Wirbels fortschreitend denken. Nehmen wir dies Resultat zu dem oben gefundenen, dem Drehungsgesetze günstigen hinzu, so stellt sich überhaupt ein häufigerer Windwechsel im Sinne des Drehungsgesetzes heraus, als im entgegengesetzten. Gleichzeitig erscheinen wir aber, woher auch Drehungen des Windes im entgegengesetzten Sinne kommen können, wenn nämlich der Beobachtungsort in dem Wirbel liegt, der seine Drehung im entgegengesetzten Sinne vollzieht *).

Es versteht sich von selbst, daß das Zusammentreffen der Polar- und Aequatorialströme nicht immer ein Eindringen des einen in den anderen zur Folge zu haben braucht. Je nach der Verschiedenheit der Intensität, mit welcher, und der Richtung, in welcher die Ströme zusammentreffen, wird das Resultat des Kampfes verschieden ausfallen. Die zu Gunsten des Gesetzes sprechenden Hauptpunkte habe

*) Pogg. Ann. Bd. LXVII. S. 298 u. 299.

ich hervorgehoben und dadurch, meine ich, ist die thatsächlich erwiesene Gültigkeit des Gesetzes auch von theoretischer Seite mindestens wahrscheinlich gemacht. Ich erwähne nur noch, daß man sich durch die zahlreichen, scheinbaren Unregelmäßigkeiten in der Veränderung der Windrichtung nicht beirren lassen darf, denn bei der Menge specieller Fälle, welche bei dem Kampfe der Aequatorial- und Polarströme eintreten können, und bei den vielfach störenden Localverhältnissen müßte man sich wohl mit Recht wundern, wenn dieser Kampf immer auf dieselbe Weise durchgeföhrt würde. Den schlagendsten Beweis für das wirkliche Vorhandensein dieses Kampfes giebt übrigens der Nachweis aus den Beobachtungsjournalen, daß die Angaben der meteorologischen Instrumente: des Barometers, Thermometers und Hygrometers mit den physischen Eigenschaften dieser Ströme in genauerem Zusammenhange stehen.

Eine Frage könnte noch aufgeworfen werden, nämlich die nach dem Ursprunge dieser Ströme. — Den Aequatorialstrom wird man als den zurückfließenden oberen Passat ohne Bedenken ansehen. Deshalb liegt es nahe, bei dem Polarstrome an eine Beziehung zu dem unteren Passate zu denken und anzunehmen, daß der Abfluß in den Tropen zu dem Aequator hin, wie er sich in den Passaten zeigt, durch einen Zufluß aus der gemäßigten Zone in die tropische Ersatz finde. Es ist jedoch noch ein anderes Bedingniß eines Polarstromes vorhanden. Wenn nämlich in einem großen Theile der gemäßigten Zone die Luft dem Pole zuströmt, so ist es nothwendig, daß ihr Lauf in irgend einem anderen Theile eben dieser gemäßigten Zone wieder vom Pole zurückfließe und sich wieder südwärts wende. Für Letzteres spricht namentlich auch die Erfahrung, daß mit einem mäßigen Winter in Europa gewöhnlich ein sehr strenger in Amerika oder Sibirien zusammenfällt.

In neuester Zeit hat Dove *) aus der Vergleichung der im westlichen und im östlichen Europa gemachten Beobachtungen geschlossen, daß die von dem Drehungsgesetze abhängige Aufeinanderfolge der Windrichtung und die sie begleitenden Veränderungen der meteorologischen Instrumente im westlichen Europa mehr durch Wirbel, im östlichen mehr durch Stauwinde verdeckt werden. Da ferner die letzteren überhaupt seltener hier, als die ersteren dort vorkommen, so müssen im Ganzen die aus dem Drehungsgesetze abgeleiteten Regeln für die Bewegung des Barometer, Thermometer und Hygrometer im östlichen Europa verhältnißmäßig deutlicher hervortreten, als im westlichen.

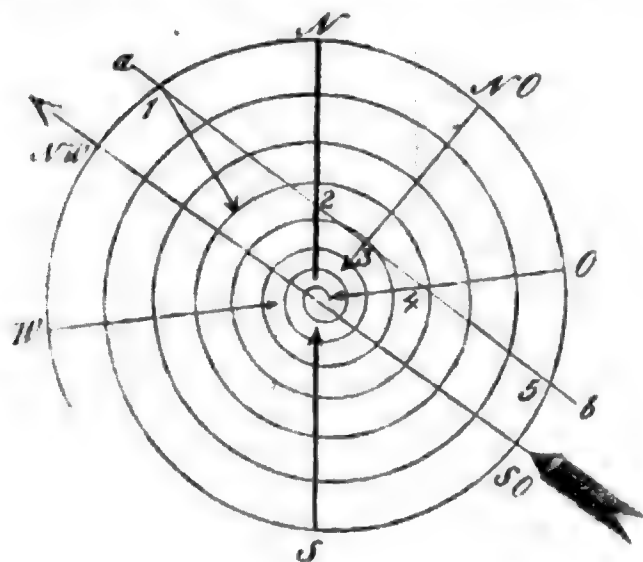
Das Vorstehende bezog sich auf die Regelmäßigkeit im Verlaufe der Luftströmungen im Großen und Ganzen. Auf Einzelheiten werden wir am Schlusse dieses Artikels noch eingehen, und jetzt uns zu einer anderen die Winde betreffenden Untersuchung, nämlich zu den Stürmen wenden.

Ueber die Stürme, diese großartigen, gewaltigen Luftströmungen, welche gewöhnlich mit schrecklichen Verheerungen ihre Bahn bezeichnen, sind in neuerer Zeit zwei Ansichten einander gegenübergetreten, nämlich 1) daß durch irgend eine Ursache an einer bestimmten Stelle der Druck der Luft ungewöhnlich vermindert werde, und daß nun von allen Seiten ein Zuströmen nach dieser Stelle stattfinde,

*) Berl academ. Berichte 1857. S. 81.

d. h. der Sturm sei centripetal; 2) daß die Gesamterscheinung der Stürme Folge einer wirbelnden Bewegung sei.

Um die Punkte, in welchen beide Ansichten von einander abweichen, klarer zu übersehen, wollen wir eine Abbildung zu Grunde legen, welche sowohl das



centripetale Zuströmen, als die wirbelnde Bewegung verfinnlicht. Nehmen wir an, daß der Sturm in der Richtung des durch das Centrum gehenden Pfeiles fortschreite, und betrachten wir die Erscheinung, welche sich an einem Orte herausstellen würde, der auf der Linie a b liegt. Findet ein centripetales Zuströmen statt, so ist die Windrichtung bei 1 aus NNW., bei 2 aus N., bei 3 aus NO., bei 4 aus O., bei 5 aus OSO.; legen wir die wirbelnde Bewegung zu Grunde, so kommt der Wind bei 1 aus ONO., bei 2

aus O., bei 3 aus SO., bei 4 aus S., bei 5 aus SSW. Die Windrichtung würde also bei demselben Sturme nach der zweiten Ansicht senkrecht auf derjenigen stehen, welche sich aus der ersten ergibt.

Eine zweite Verschiedenheit muß sich im Centrum herausstellen. Liegt ein Ort so, daß der Sturm mit seinem Centrum über ihn hinweg schreitet, so muß zwar nach beiden Ansichten temporäre Ruhe eintreten, sobald der Sturm mit seinem Centrum anlangt; aber nach der ersten Ansicht muß sich das Herannahen dieses Momentes durch eine allmälige Abnahme der Intensität des Sturmes markiren, so wie das Welterschreiten durch eine allmälige Verstärkung, weil sich alle Ströme in dem Centrum flauen und dadurch allmälig an Intensität verlieren: nach der zweiten Ansicht hingegen wird beim Durchgange des Centrum durch einen Ort eine plöbliche Unterbrechung des Sturmes eintreten, auf welche derselbe ebenso plöblich wieder beginnen wird, weil eben die Luft um das ruhige, nur fortichreitende Centrum rotirt.

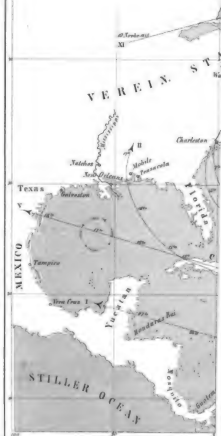
Die Erfahrung, welche hier allein entscheiden kann, hat vollständig zu Gunsten der zweiten Ansicht sich ausgesprochen und die Stürme als Wirbelwinde herausgestellt. Für die zweite Ansicht scheint Colonel Gayer von der ostindischen Compagnie zuerst aufgetreten zu sein *). Als der Gegenstand größeres Interesse gewonnen hatte, kämpften für die erstere Ansicht namentlich Brandes in Leipzig **) und Esch in Philadelphia ***), für die zweite Dove in Berlin, Redfield in Newyork und Colonel Reid, Gouverneur der Bermudas-

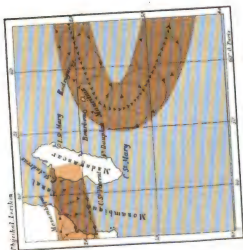
*) Ueber die Stürme und Monsoons 1801.

**) De repentinis variationibus in pressione atmosphaerae observatis. Diss. phys. Lips. 1826.

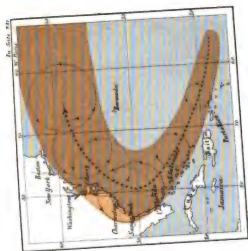
***) L'Institut. 1841. No. 379. nach: Theory of rain, hail and snow etc. Philadelph. 1836.

LAUF
der
WESTINDISCHEN STÜRME
nach
W. F. REDFIELD.





Verbreitungs Bezirk
eines
Mauritius Orkan's
Mars 1809.



Verbreitungs Bezirk
eines
Westindischen Orkan's
Mitte August 1837.

Inseln *); den Letzteren hat sich in neuester Zeit insbesondere Taylor angeschlossen **).

Die Zusammenstellung der Beobachtungen nicht bloß über die Richtung, in welcher der Sturm als Ganzes fortschreitet, sondern besonders über die Richtung, aus welcher die Luft an einem bestimmten Orte stürmt, ergab nicht nur, daß die Stürme Wirbel sind, sondern es stellte sich auch heraus, daß dieser Wirbel auf der nördlichen Halbkugel im Sinne der Richtung S. O. N. W., auf der südlichen in der Richtung S. W. N. O., also entgegengesetzt der Richtung im Dove'schen Drehungsgesetze erfolge. Ferner zeigten die Beobachtungen im Antillen-Meere, daß die Richtung, in welcher der Wirbel als Ganzes fortschreitet, im Allgemeinen von SO. nach NW. geht, und daß bei dem Ueberschreiten der Passatzzone diese Richtung sich plötzlich unter einem rechten Winkel umbiegt. Beiliegende Karte enthält den Lauf der westindischen Stürme nach der Zusammenstellung der Beobachtungen von Redfield. Daß der Verlauf der Stürme auf der südlichen Halbkugel gerade der entgegengesetzte von dem auf der nördlichen ist, daß sie im Sinne S. W. N. O. wirbeln und in der Richtung von NO. nach SW. fortschreiten, später in die Richtung nach SO. umbiegen, haben die Beobachtungen mehrfach bestätigt und zeigt insbesondere die kleine beigegefügte Karte über den Verbreitungsbezirk eines Mauritius-Orkans vom März 1809, die außerdem noch einen Theil eines Wirbelsturmes in dem Kanale von Mozambique darstellt. — Den Verbreitungsbezirk eines westindischen Orkans bringt die Karte zur Anschauung, welche den Orkan darstellt, der in der Mitte des August 1837 bei den kleinen Antillen begann und dann in der Nähe Floridas umbiegend zwischen den Bermudas-Inseln und der Küste der nordamerikanischen Freistaaten in der Richtung nach NO. fortschritt.

Redfield hat neuerdings die Mittheilung gemacht ***), daß bei den Wirbelstürmen die peripherischen Theile die Luft in Schraubenspiralen abwärts führten, während in der Nähe der Axe die Luft in Schraubenlinien aufwärts gezogen werde. In Wasserwirbeln sei es gerade umgekehrt.

Dove ist es gelungen, von dem Gesetze der Stürme eine befriedigende Erklärung zu geben. Er trug dieselbe zuerst vor in der Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 26. November 1840. Er nimmt auf der nördlichen Halbkugel eine Reihe materieller Punkte an, welche dem Aequator parallel liegen und durch irgend einen Impuls nordwärts in Bewegung gesetzt werden. Wie der oben zurückkehrende Aequatorialstrom würden diese Punkte in den kleineren Parallelfreisen, zu welchen sie gelangen, ostwärts vorausschleichen und aus S. in SSW., SW. u. übergehen. Dies könnte jedoch nur ungestört erfolgen, wenn auf der Ostseite dieser in Bewegung gesetzten Punkte ein leerer Raum wäre. Da sich nun dort Luft befindet, welche eine geringere Rotationsgeschwindigkeit besitzt, so hemmt diese die nach Norden getriebenen Punkte in ihrer östlichen Ausbiegung oder ihrem Vorausschleichen nach Osten zu; die Rotationsgeschwindigkeit, welche sie mitbrachten, wird vermindert, und so bekommen die an der Ostseite der in Bewegung gesetzten

*) Dove in Pogg. Ann. Bd. LII. S. 1 ff.

**) L'instit. No. 987 p. 391.

***) Sill. Amer. Joura. [2] T. XXIII. p. 23; Samminer, Jahresbericht über die Fortschritte der Physik für 1857. S. 93.

Punkte liegenden Theile eine weniger östliche, behalten eine mehr nördliche Richtung. Die westlicher liegenden Theile haben hingegen auf ihrer Ostseite Punkte, welche mit ihnen eine gleiche Rotationsgeschwindigkeit besitzen, sie erleiden also nicht die Krümmung, welche die östlich liegenden erfahren, bewegen sich darum wie im leeren Raume und erhalten daher auch eine mehr östliche Richtung. Stellen nun die angenommenen Punkte eine in der Breite bedeutende Luftmasse vor, welche nach Norden zu in Bewegung gesetzt wird, so ist auf der östlichen Seite die Richtung des Windes mehr S., als auf der westlichen, wo sie mehr SW. und W. ist, und es entsteht so ein Bestreben zu einem Wirbel im Sinne S. O. N. W.

Hierbei ist vorzugsweise zu beachten, daß sich diese Tendenz einen Wirbel zu bilden, auf das Vorhandensein eines in O. liegenden Widerstandes gründet. Diese Tendenz muß offenbar in demselben Verhältnisse zunehmen, in welchem dieser Widerstand die Abweichung des Sturmes ostwärts hemmt, d. h. der Sturm wird um so heftiger werden, je vollkommener das Ganze des Wirbels der Richtung des ursprünglichen Impulses folgen muß. Nun finden wir in den Tropen den Nordostpassat, sehen also die Bedingung erfüllt, welche als die bezeichnet wurde, damit der Sturm am heftigsten wüthe und geradlinig fortgehe. Kommt dann dieser Sturm in die Gegend des von oben herabkommenden Südweststromes, so wird der Widerstand, welchen die Theilchen bei ihrem Bestreben, ostwärts auszubiegen, bisher gefunden haben, plötzlich aufgehoben, wenigstens bedeutend vermindert, weil die angrenzende Luft auch in der Richtung fortschreitet, welche die in Bewegung gesetzte Luft anzunehmen das Bestreben hat, — der Sturm biegt deshalb plötzlich um und schreitet, zugleich an Breite zunehmend, in einer Richtung fort, welche auf seiner früheren senkrecht steht. — Die Ableitung des Herganges auf der südlichen Halbkugel ergiebt sich auf dieselbe Weise.

Es läßt sich wohl nicht leugnen, daß Dove die Grundbedingungen richtig erkannt hat. Stimmt der Erfolg nicht immer mit der eben gegebenen Ableitung überein, so kann uns dies nicht irre machen, denn ändern sich die oben gesetzten Bedingungen, erfolgt z. B. der erste Impuls in einer anderen Richtung, oder trifft der Sturm bei seinem Fortschreiten mit einem anderen Winde zusammen, oder gelangt er nach einander in Strömungen von verschiedener Richtung, so muß nothwendiger Weise der Verlauf eines Sturmes ein anderer werden. Die leitenden Principien werden jedoch dieselben bleiben.

Brandes nahm an, daß durch eine starke Condensation der in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdämpfe eine Luftverdünnung erzeugt und dabei ein großes Quantum von Wärme frei werde; hierdurch entstehe ein mit Heftigkeit aufsteigender Luftstrom und ein gewaltiges Zuströmen der Luft von allen Seiten her nach dieser Stelle, welche selbst eine fortschreitende Bewegung besitze. Daß die Erfahrung mit dem hiernach stattfindenden Zuströmen nicht im Einklange steht, ist bereits angeführt; die Erklärung von Brandes durfte in diesem Artikel jedoch nicht unerwähnt bleiben. Für die Dove'sche Erklärung spricht übrigens, daß sich aus demselben Principe, nämlich der Rotation der Erde, sich alle Haupterscheinungen in Betreff der Bewegungen in der Atmosphäre ergeben: 1) die constante Richtung der Passate und der regelmäßige jährliche Wechsel der Moussons; 2) die regelmäßige Aenderung der Windrichtung in der nördlichen und südlichen Halbkugel; 3) die Wirbelbewegung der Stürme in einem bestimmten Sinne.

Die Erkenntniß des Gesetzes der Stürme ist von der höchsten Wichtigkeit für

die Seefahrt geworden und der daraus hervorgehende Gewinn hat sich bereits durch eine Menge von Fällen tatsächlich herausgestellt. Das Gesetz der Stürme führt nämlich auf einfache Regeln, nach welchem der Seemann zu verfahren hat, um einem ihn treffenden Sturme auf kürzestem Wege zu entkommen. Zunächst erinnern wir uns, daß in der nördlichen heißen Zone die Fortschrittsrichtung des Wirbelsturmes von SO. nach NW., in der nördlichen gemäßigten Zone von SW. nach NO. erfolgt, und daß die Drehung im Sinne S. O. N. W. geschieht. Hieraus ergibt sich Folgendes:

1) Nördlicher Theil der heißen Zone.

Wird ein Schiff im nördlichen Theile der heißen Zone von einem Sturme getroffen, so weiß man, daß derselbe in der Richtung von SO. nach NW. fortschreitet und kennt ebenso den Sinn der Drehung. Setzt nun z. B. der Wind als NO. ein und dreht sich durch O. nach SO., so befindet sich das Schiff auf der Nordseite des Sturmes und muß nach NO. steuern, um aus dessen Verbreitungsbezirke herauszukommen; setzt hingegen der Wind als NW. ein und geht durch W. in SW., so ist das Schiff auf der Südwestseite des Wirbels und muß nach SW. steuern.

2) Nördliche gemäßigte Zone.

Der Sturm schreitet von SW. nach NO. fort: wird also ein Schiff von einem solchen getroffen, und setzt der Wind z. B. als SO. ein und dreht sich durch S. nach W., so befindet sich das Schiff auf der Südostseite des Sturmes und muß nach SO. steuern; setzt der Wind hingegen als NO. ein und geht durch N. nach NW., so ist das Schiff auf der Nordwestseite des Wirbels und muß nach NW. steuern.

Auf der südlichen Halbkugel erfolgt die Drehung des Wirbels im Sinne S. W. N. O. und die Fortschrittsrichtung ist im südlichen Theile der heißen Zone von NO. nach SW., in der südlichen gemäßigten Zone aber von NW. nach SO. Es ergeben sich hiernach folgende Regeln:

3) Südlicher Theil der heißen Zone.

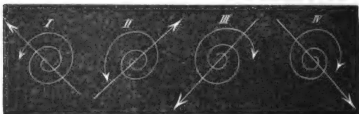
Der Sturm schreitet von NO. nach SW. fort: wird also ein Schiff vom Sturme getroffen, und setzt der Wind z. B. als SO. ein und dreht sich durch S. nach SW., so befindet sich das Schiff auf der Nordwestseite des Sturmes und muß nach NW. steuern; setzt der Wind hingegen als NO. ein und geht durch N. und NW., so ist das Schiff auf der Südostseite des Wirbels und muß nach SO. steuern.

4) Südliche gemäßigte Zone.

Der Sturm schreitet von NW. nach SO. fort: wird also ein Schiff vom Sturme getroffen, und setzt der Wind z. B. als NO. ein und dreht sich durch N. nach NW., so befindet sich das Schiff auf der Nordostseite und muß nach NO. steuern; setzt der Wind hingegen als SO. ein und geht durch S. in SW. über, so ist das Schiff auf der Südwestseite und muß nach SW. steuern.

Setzt man in jedem speciellen Falle die zugehörige Figur von den vier umstehend beigefügten zu Grunde, so wird man sich in allen Fällen zurecht finden

können. Fig. I. gehört zu dem nördlichen Theile der heißen Zone, II. zu der nördlichen gemäßigten Zone, III. zu dem südlichen Theile der heißen Zone und IV. zu der südlichen gemäßigten Zone. Man hat sogar besondere Sturmzeiger



construirt; doch sind dergleichen im Grunde überflüssig, falls sich nur am Vordr des Schiffes ein Barometer befindet und der Ort des Schiffes, der Kurs desselben und die Veränderungen der Windrichtung gehörige Beachtung finden. Das Barometer nämlich ist der beste Sturmzeiger; überhaupt steht der Stand dieses Instrumentes mit den Winden in dem innigsten Zusammenhange. Hier wollen wir zunächst den auffallend niedrigen Barometersstand während eines Sturmes und ebenso den, welcher den Stürmen voranzugehen pflegt, ins Auge fassen.

Was den niederen Barometersstand während eines Sturmes, also an den von dem Sturm getroffenen Orten anbetrifft, so ergibt sich dieser aus Folgendem. Wenn bei den Stürmen der Passatzone der rotirende Cylinder von beträchtlicher Höhe ist und aus dem unteren Passate in den oberen eingreift, so findet auf diesen oberen Theil, weil hier Südwestwind herrscht, die Schlußfolge Anwendung, welche zu der Erklärung des plötzlichen Umbiegens des Sturmes bei dem Ueberschreiten der äußeren Grenze der Passate führte. Während also der untere Theil seine Richtung noch beibehält und auch mit gleicher Breite noch fortgeschreitet, erweitert sich schon der obere Theil und nimmt auch eine andere Richtung an. Indem so der Wirbel nach oben trichterförmig sich erweitert und die oberen Schichten sich mehr von der Axe des Cylinders entfernen, als die unteren, die eben darum ein Bestreben zum Steigen erhalten, um die in der Höhe entstandene Verdünnung zu compensiren, entsteht ein Saugen in der Mitte des Wirbels und dadurch eine Verminderung des Druckes auf die Grundlage. Eine nothwendige Folge ist also ein bedeutendes Fallen des Barometers. Es muß dies jedoch nicht bloß dann eintreten, wenn der rotirende Cylinder bis in den oberen Passat reicht, in welchem Falle das Saugen freilich am klarsten einleuchtet, sondern überhaupt bei dem Wirbelwinde; denn dann ist überhaupt eine hebende Kraft vorhanden, wie schon daraus hervorgeht, daß selbst feste Körper emporgesührt werden, und der Druck der Atmosphäre im Innern des Wirbels muß eine Verminderung erleiden.

Den niederen Stand des Barometers noch vor dem Eintreffen des Sturmes hat schon Redfield richtig erkannt. Der wirbelnde Cylinder erleidet bei seinem Vorwärtsschreiten einen Widerstand durch Reibung an dem Boden. Folge davon ist, daß sich der rotirende Cylinder vorneigt und sich schon in der Höhe bemerkbar macht, ehe er unten wahrgenommen wird. Das Barometer fällt also ehe der Sturm eintritt, und wird dadurch eben ein Prophet desselben.

Es kann indessen das Barometer auch an Orten einen sehr niedrigen Stand erhalten, welche gar nicht vom Sturme berührt werden. Dies hat darin seinen Grund, daß der obere Theil des Cylinders sich ausbreitet und eine andere Richtung als der untere Theil erhält. Dann zeigt das Barometer an, daß in der Nähe ein Sturm gewesen ist.

Um einige Belege für den in Rede stehenden Gegenstand beizubringen, erwähnen wir nur aus der großen Anzahl von Beispielen, (denn an jedem Sturme kann man die Beobachtung machen), daß zu Portorico am 2. August 1837 das Barometer um 18, und auf St. Thomas um 21 Linien fiel, daß bei dem Sturme vom 24. December 1821, von welchem Dove *) eine Karte giebt, das Barometer zu Brest und London um 22 Linien, zu Harlem und Paris um 18 Linien, zu Straßburg um 16 Linien, zu Berlin und Genf um 13 Linien unter den mittleren Stand herabging. Ist es also nicht unverantwortlich, wenn ein Schiff eine Seereise, ohne ein Barometer an Bord zu haben, unternimmt? Schon manches Schiff ist gerettet worden, weil das Barometer den hereinbrechenden Sturm durch seinen auffallend niedrigen Stand vorhersagte und rechtzeitig warnte. Scoresby machte schon 1819 in dieser Beziehung die zutreffendsten Erfahrungen. Die Seeassuranz-Gesellschaften sollten wenigstens von den Seeschiffen eine höhere Prämie fordern, an deren Bord sich kein Barometer befindet.

Ueber die erste Ursache der Stürme, über den Impuls, durch welchen die Luftmasse in Bewegung gesetzt wird, sind die Ansichten verschieden. Herschel's Meinung ist, daß die furchtbaren Stürme tropischer Klimate aus zu frühzeitig innerhalb der Tropen selbst herabkommenden Theilen des oberen Stromes entstehen. Bei den westindischen Stürmen wäre dies nicht unmöglich, da sie an der inneren Grenze der Passate entstehen, wo in der Gegend der Windstillen die Luft aufsteigt. Durch dies Aufsteigen entsteht — um dies nebenbei zu erwähnen — das sogenannte Ochsenauge, eine kleine schwarze Wolke, die sich plötzlich am heiteren Himmel zeigt, schnell fortichreitend sich vergrößert und den nahen Sturm ankündigt; die heiße, mit Wasserdämpfen überladene Luft wird nämlich in den oberen kälteren Regionen abgekühlt, und heftige Niederschläge sind die notwendige Folge. — Andere suchen den Grund in den hohen Gebirgen der Inseln jener Gegenden, so daß diese rein mechanisch wirkten, indem die Luft zwischen zwei Höhen, ähnlich wie das Wasser zwischen zwei Brückenpfeilern, mit verstärkter Geschwindigkeit durchströmen müßte. — Auch noch andere mechanische Ursachen können wirken und einen gewöhnlichen Wind in einen Wirbelsturm verwandeln, z. B. vorliegende Gebirge. So ist dies z. B. bei dem Sturme vom 3., 4. und 5. Juni 1839 in dem Busen von Bengalen der Fall gewesen, von welchem Dove eine Karte nach Biddington mittheilt. Hier wirkten die hinterindischen Gebirge in der bezeichneten Weise. — Lampadius betrachtete die Elektricität als eine Ursache der Stürme **), wenigstens derjenigen, welche auf ein Gewitter folgen. Die elektrische Materie, welche bis dahin in Funken übersprang, solle dann ausströmen und die Lufttheilchen dadurch mit sich fortreißen. Es scheint hier eine unklare Vorstellung der Luftelektricität zu Grunde zu liegen. Daß auch von anderen Seiten an Elektricität gedacht ist — z. B. von

*) Pogg. Ann. Bd. LII.

**) Schweigg. Journ. B. LXIX. S. 267.

einem Hrn. Friedr. Victor *) darf uns nicht Wunder nehmen, da gerade bei vielen Leuten das Bestreben sich geltend macht, eine noch nicht erforschte Sache durch eine ihnen noch unklarere, durch die Electricität oder gar durch den Elektromagnetismus erklären zu wollen. — Taylor glaubt, daß die theilweise Leere, welche der niedrige Barometerstand anzeigt, nicht die Wirkung einer Centrifugalkraft, sondern die erste Ursache der rotirenden Bewegung sei, indem sie gewissermaßen Luft von außerhalb entlehne und nach innen ziehe. Diese Bewegung, meint er, würde in gerader Richtung stattfinden, wenn Erde und Luft in Ruhe wären; da aber die Erde sich bewege und folglich auch die Luft sich um ihren Mittelpunkt drehe, so sei die Schnelligkeit dieser Bewegung für ein Lufttheilchen, daß sich in einer gewissen Entfernung von diesem Mittelpunkte befinde, größer als für ein anderes, welches ihm näher liege. Hieraus folge, daß in dem Maße, in welchem sich diese Theilchen dem Mittelpunkte näherten, sie ihre größte Geschwindigkeit behalten und sich nicht mehr in radialen, nach dem Mittelpunkte gerichteten oder convergirenden Linien, sondern im Kreise oder in einer Spirale bewegen würden, die sich verkleinern, je mehr sie sich dem Mittelpunkte näherten. Hierbei bliebe immer noch die Frage zu beantworten: Woher kommt die theilweise Leere? Und scheint der Nachweis Dove's, daß der niedere Barometerstand eine Folge des Sturmes sei, so folgerecht und mit der Erfahrung im Einklange, daß wir Taylor's Ansicht nur für wenig begründet halten können.

Um eine Vorstellung von dem Gange des Barometers während eines Sturmes zu geben, lassen wir die Beobachtungen folgen, welche am 2. August 1837 zu St. Thomas gemacht worden sind. Diese Station war für diesen Sturm darum besonders wichtig, weil das Centrum des Wirbels darüber hinwegging. Der Wind wehte um 2 Uhr 10 Min. aus NW., war um 3 Uhr 20 Min. Sturm aus N., um 5 Uhr 40 Min. aus NO., um 6 Uhr 30 Min. aus NW., von 7 Uhr 35 Min. bis 8 Uhr 23 Min. herrschte Windstille, dann brach der Orkan von neuem los aus SSO., wurde um 8 Uhr 33 Min. SO., um 20 Uhr SW.-Wind und um 21 Uhr Ostwind.

Zeit.	Barometer.	Zeit.	Barometer.	Zeit.	Barometer.
2h 10'	335'''	7h 30'	317'''	9h 25'	329'''
3 20	334	7 38	316,5	9 35	330
3 45	334	7 52	316	9 50	331
4 45	332	8 10	316	10 10	332
5 40	331,5	8 20	316	10 35	333
6 45	330	8 23	320	11 10	333,2
6 30	328	8 33	321	11 30	333,5
6 35	328,5	8 38	322	11 45	335
6 45	324	8 45	323	20 0	336,5
7 0	324	8 50	324	21 0	336,8
7 10	322	9 0	326		
7 22	318,5	9 10	328		

Nachdem wir im Vorstehenden die Winde im Allgemeinen und specieller die Land- und Seewinde, die Passate, die Moussons, das Dove'sche Drehungs-

*) Der Orkan vom 18. Juli 1841 von Friedrich Victor. Siegen und Wiesbaden.

gesetz und die Stürme besprochen haben, wenden wir uns zu mehr localen Erscheinungen.

In Thälern zeigt sich in der Regel des Abends eine auffallende Luftbewegung. Diese hat ihren Grund darin, daß die kühler gewordenen Luftschichten herabsinken. Auffallend zeigt sich diese Erscheinung an der Mündung des Neckarthaales bei Heidelberg, namentlich nach sonst windstillen Tagen. A. v. Humboldt*) erzählt ein gleiches Beispiel aus dem Thale des Amazonasstromes.

Ähnlich verhält es sich mit dem Winde, der bei einzelnen ziehenden Wolken sich einfindet, wenn die Sonne von einer solchen Wolke verdeckt wird. Hier rückt die durch den Schatten der Wolke abgekühlte Luftsäule mit fort, wie Brandes richtig bemerkt hat, während La Hire die Erklärung in einem Einstömen der wärmeren Luft in den abgekühlten Raum suchte. Die Bora zu Triest, ein Nord- oder Nordostwind, der im Winter daselbst einige Tage mit Heftigkeit weht, verdankt auch dem Herabsinken kälterer Luftmassen in wärmere ihren Ursprung. Hierher gehört auch die Erscheinung, daß bei Gewittern nach allen Seiten aus dem Raume, in welchem in Folge des Regens eine Abkühlung stattgefunden hat, ein Abströmen der kalten Luft eintritt.

Die sieben Soren, die sieben Wochen zwischen Ostern und Pfingsten, so genannt von ausoren, d. h. austrocknen, sind im nördlichen Deutschland durch einen trockenen Ostwind ausgezeichnet. Dieser Wind hat jedenfalls seinen Grund in einem Polarstrome, welchem die den Aequator nordwärts überschreitende Sonne veranlassen mag. Im Gegensatze hierzu stehen vielleicht die 7 Schläfer mit ihren gewöhnlich durch westliche Winde charakterisirten sieben Wochen, die mit dem 27. Juni beginnen.

Auf den Eismeeeren üben die großen Eismassen einen bedeutenden Einfluß auf die Luftströmungen aus. Scoresby erzählt, daß, wenn ein Wind gegen große Flächen festen Eises oder gegen eine dichte Masse von Eisflücken (Packeis) zuweht, ein anderer vom Eise herkommender Wind ihm gleichsam das Gleichgewicht halte und selbst dem Sturme, gleichsam ihm widerstehend, sich entgegensetze und seine Heftigkeit mäßige. Es ist offenbar, daß es hier wieder die kältere Luft ist, die von jenen Eismassen her an der Erde abwärts fließt, und es ist zu vermuthen, daß höher hinauf die wärmere Luft, die schon bei stillem Wetter gegen das Eis zuströmen muß, bei Stürmen mit vermehrter Gewalt zudringen mag und jenen Kreislauf fortwährend erhält, weil sie als erkaltete Luft wieder in die tieferen Schichten zurückströmt. Hieraus läßt sich die stundenlange Dauer jenes Kampfes beider Winde, den man bis auf eine englische Meile weit spürt, wo bald der eine, bald der andere das Uebergewicht erhält, wohl erklären. Es ist auch klar, warum ein gegen das Eis zu gerichteter Sturm so sehr an Kraft verliert, daß er an der anderen Seite des Eises gar nicht, oder erst nach Verlauf einiger Stunden gespürt wird.

Die Beschaffenheit der Winde, ob sie feucht, trocken, kalt oder warm sind, hängt davon ab, von wo die Luftmassen, welche sich im Winde ergießen, ihren Ursprung herleiten. Die Nordwinde bringen z. B. in Europa aus bekannten Ursachen Kälte, die Südwinde Wärme. Am interessantesten sind die heißen Winde, die von sandigen Ebenen kommen, auf denen keine Pflanzen wachsen,

*) Reisen, deutsche Uebers. Bd. IV. S. 181.

und die zum Theil selbst feinen heißen Sand mit sich führen. Treffen sie den Körper des Menschen, so wird die feuchte Haut desselben durch die heiße trockne Luft schnell getrocknet, und dies bewirkt anfänglich eine angenehme Kühlung, welche von der Verdunstung (s. d. Art.) herrührt, bald aber wird die Haut völlig trocken sein, und die Hitze unleidlich empfunden werden, ja die Haut kann bis zum Versten trocknen. Daher pflegen sich die Neger die Haut mit Fett einzureiben, wenn der heiße Wind weht, damit die Haut nicht springe, und die arabischen Hirten beschmieren sich aus demselben Grunde den Körper mit Schlamm. In den meisten Gegenden des Orients, namentlich in Persien und Arabien wird der heiße Wind, welcher über die Wüsten Asiens und Afrikas kommt, *Samum* oder *Bahd-Samum* (d. h. giftiger oder heißer Wind), *Samiel* (von *Sam* Gift und *Del* Wind), in Aegypten *Chamsin* (d. h. funfzig, weil er besonders in den 50 Tagen vom 29. April bis zum 18. Juni auftritt), genannt. Die Neger nennen den heißen Wind *Harmattan* (d. h. Talgwind, nach der angegebenen Sitte der Neger, von *aberrahman*, wehen und *tah*, Talg), welcher derselbe Wind wie der *Samum* ist. Die Nachrichten von diesen Winden sind von einigen Reisenden sehr übertrieben worden, wozu der Umstand Veranlassung gegeben haben mag, daß die Beduinen, welche die Karawanen durch die Sahara leiten, so wie die Kaufleute aus Eigennuz schreckhafte Nachrichten von demselben verbreiten. Er scheint nur durch seine Hitze nachtheilig und gefährlich zu werden, aber keine giftigen Bestandtheile mit sich zu führen. Der feine Sand, den er mit sich führt, macht ihn für Menschen und Thiere unbequem. Gefährlich wird er durch seine Hitze, indem diese den Reisenden das Wasser in den Schläuchen, welche sie bei sich führen, austrocknet, denn die Verdunstung soll beim *Samum* noch einmal so schnell als bei anderen Winden erfolgen. Ehe der *Samum* ankommt, erscheint der Horizont dunkel, der Himmel verliert endlich alle Helligkeit, die Sonne wird glanzlos und wirft keinen Schatten mehr, die Thiere irren ängstlich umher; die ganze Landschaft gewährt einen Anblick etwa der Art, wie wenn man durch ein hellgelbes Glas sieht. Die Hitze des Windes ist oft sehr bedeutend, so erzählt *Burkhardt*, daß bei einem heftigen *Chamsin*, den er beobachtete, das Thermometer auf 49°,4 C. stand. Am Rande der Wüste kommt der heiße Wind aus der Wüste; in Unter-Aegypten aus SSW. und SW.; in Tor am Meerbusen von Suez aus NO. (aus dem steinigten Arabien); in Mecca aus O. (aus der Wüste *Nedsched*); in Surate aus N.; in Bassora aus NW.; in Bagdad aus W.; in Syrien aus SO. (also hier überall aus den Wüsten westlich vom Euphrat); bei Benown aus NO. (aus der Sahara); eben daher am Senegal; an der Guinea-küste hat er in verschiedenen Gegenden gleichfalls verschiedene Richtungen, er weht an der Goldküste aus NO., am Cap Lopez und dem Strome Gabbon aus NNO., auf der Insel Fos (etwas nördlich von Sierra Leone) aus OSO.

Mit Uebergang der heißen Winde, welche noch an vielen Orten der Erde wehen (z. B. in Hindostan, in der Hochebene Kobi, in Paramatta, in Louisiana, im südlichen Rußland, in Andalusien der *Solano*), erwähne ich nur noch den bekannten *Sirocco* in Italien. Im Allgemeinen bezeichnet *Sirocco* jeden SO-Wind, besonders aber den heißen Wind. *Bydron* erzählt, daß ihn, als er in Palermo bei einem solchen Winde die Thür seines Zimmers öffnete, derselbe wie der Broden aus einem glühenden Ofen auf das Gesicht fiel. In einer freien Laube war die Wärme unerträglich, das Thermometer stieg hier auf 45° C.; als

aber der Wind aus der See kam, wurde es plötzlich kühl. Zu der Zeit eines Strocce läßt sich in Palermo Niemand auf der Straße sehen, und derselbe hinterläßt eine Ermattung, welche aber bei dem bald darauf folgenden Nordwinde wieder verschwindet. Auf die Gesundheit scheint er keine üblen Folgen zu haben. Gewöhnlich nimmt man an, daß die heißen Winde Italiens und Spaniens aus Afrika kämen, Râmz leitet aber die Hitze dieser Winde von den Ebenen Andalusens und den trockenen Felsen Siciliens ab. Der Föhn in einigen Thälern der Schweiz ist der über die Alpen gegangene Strocce. Auch den Mistral (Mistrou, Magistral, Meistre) im südlichen Frankreich, einen heftigen Nord- oder Nordostwind der von der Provence auf den Busen von Lyon zufließt, hat man hier und da für den Strocce oder vielmehr für eine Fortsetzung desselben ausgegeben; es verhält sich mit demselben aber wohl ebenso wie mit der Bora bei Triest. Derselbe Wind führt in Spanien den Namen Gallego.

Mit dem Einflusse der Sahara Afrikas hat man die oben bereits erwähnten etesischen Winde des Mittelmeeres in Verbindung zu bringen gesucht. Die Nord- und Nordwestwinde des Sommers sollen ihren Grund haben in dem aufsteigenden Luftströme über der brennenden Sandfläche der Sahara, wodurch ein Zufließen der kälteren Luft über dem Meere veranlaßt werde, während umgekehrt im Winter die Luft über dem lockeren, viel Wärme ausstrahlendem Sande der Wüste die kältere sei und ihrerseits nach dem wärmeren Meere abfließe. Möglich wäre es indessen, daß die nördlichen Winde des Sommers durch das dann eintretende nordwärtsgehende Vorrücken der Passate veranlaßt würde, und daß ebenso die mehr südlichen Winde des Winters in dem herabkommenden oberen Luftströme ihren Grund hätten.

Vorzugsweise kalte Winde finden sich in Tibet. Sie wehen im Winter mehrere Tage aus N. und NO., arten gewöhnlich in Stürme, sogenannte *Buraneen*, aus und sind äußerst kalt und trocken. In Beludschistan wehen während des Sommers bisweilen kalte und schneidende Winde in der Wüste. Sie sind von heftigen Regengüssen begleitet, dauern gewöhnlich nur etwa eine halbe Stunde, sind aber so heftig, daß man ihnen nicht widerstehen kann, und verfinstern dabei die Luft durch den aufgewirbelten Sand so, daß man nicht zehn Schritte weit zu sehen vermag. Zu den kalten Winden gehören auch die Schneestürme, die sogenannten *Wuga*, in den russischen Steppen. Sie werden schlimmer geschildert, als die ärgste Kälte, haufen ein bis drei Tage mit der größten Gewalt, so daß Niemand, selbst bei der größten Dringlichkeit sich ins Freie wagt, und verdunkeln theils durch die fallenden, theils durch die aufgewirbelten Schneemassen die ganze Atmosphäre. Im Jahre 1827 wurden alle Heerden der kleinen Kirghisen-Orda, an der Mündung des Ural, durch einen solchen Schneesturm nach Saratow verschlagen, wobei 280500 Pferde, 30400 Stück Hornvieh, 10000 Kameele und über eine Million Schafe umkamen. —

Nach Poey, Chronological Table of Cyclonic Hurricanes which have occurred in the West Indies and in the North Atlantic from 1493 to 1855 fallen von den Stürmen unter 365 derselben auf die 12 Monate des Jahres bezüglich 5, 7, 11, 6, 5, 10, 42, 96, 80, 69, 17, 7, also vom Juli bis October 287, auf die übrigen 8 Monate nur 68.

Aus Zeitschrift für allgemeine Erdkunde. Neue Folge Bd. II. Heft 1. „Dove über die Vertheilung des Regens auf der Oberfläche der Erde.“

Die Richtung des Windes bestimmt man namentlich mittelst der Windfahne, die Geschwindigkeit und Stärke desselben durch das Anemoskop. Ueber beide Apparate handelt der besondere Artikel Anemoskop, Bd. I. S. 177. Es sei hier nur noch bemerkt, daß zur Bestimmung der Windrichtung man in Ermangelung einer Windfahne den Zug der Wolken, des Rauches oder auch die Stellung einer im Gange befindlichen Windmühle benutzen kann. Zur Bestimmung der Geschwindigkeit und Stärke des Windes verfährt man nach dem Vorgange der Mannheimer Societät gewöhnlich in der Weise, daß man Windstille mit 0; einen Wind, welcher nur das Laub der Bäume bewegt, mit 1; einen solchen, durch welchen schwache Zweige in Bewegung gerathen, mit 2; einen stärkere Aeste bewegenden Wind mit 3 und einen starke Aeste abbrechenden und Bäume entwurzelnden Sturm mit 4 bezeichnet. Auch dürfte die Bemerkung noch nöthig sein, daß man, falls die Luftbewegung in einem fortschreitenden Wirbel besteht, die fortschreitende Geschwindigkeit wohl zu unterscheiden hat von der localen Geschwindigkeit in der Tangente der Rotation.

Die oben gegebene Karte über die westindischen Stürme gewährt einen Einblick in die Geschwindigkeit, mit welcher die Wirbelstürme fortschritten. Nach Toaldo soll der Sturm in der Nacht vom 11. zum 12. März 1783 in Zeit von 3 Stunden von Venedig nach Neapel fortgeschritten sein, was bei einer Entfernung von 276 italienischen Meilen eine Geschwindigkeit von 140 Fuß in der Secunde geben würde. Der auf der Redfield'schen Karte mit II. bezeichnete Sturm war am 10. August 1831 zu Barbados und am 17. zu Neu-Orleans, legte 2000 Seemeilen in 150 Stunden zurück und hatte also eine fortschreitende Geschwindigkeit von nur 21,5 Fuß in einer Secunde. Der Sturm III. der bezeichneten Karte legte vom 17. bis 28. August 1827, also in 11 Tagen, nur 3000 Seemeilen zurück, woraus sich eine Geschwindigkeit von wenig über 18 Fuß in einer Secunde berechnet.

Die Rotationsgeschwindigkeit ist offenbar weit bedeutender. Brandes *) findet aus Boltmann's Beobachtungen, daß die heftigsten Stürme in unseren Gegenden höchstens eine mittlere Geschwindigkeit von 70 bis 80 Fuß haben, wiewohl er die Angaben von 150 Fuß bei Stürmen in südlicheren Gegenden für wohl möglich hält. Einzelne Stöße können noch bedeutender sein.

Die Schilderungen der Verwüstungen, welche Stürme, namentlich in den Tropen veranlassen, lauten schrecklich **). Wir erwähnen nur als besondere Merkwürdigkeit, daß ein Sturm auf Guadeloupe am 26. Juli 1825 den 16 Zoll dicken Stamm eines Palmbaumes mit einem Brette von Lannenholz, welches 37 Zoll lang, 9 Zoll breit und 10 Linien dick war, durchschnitt; daß in der Nähe von Calcutta am 8. April 1833 ein Wirbelwind ein langes Bambusrohr durch einen 5 Fuß dicken, mit einer Mauerbekleidung versehenen Wall trieb. Statt der älteren Schilderungen führen wir an, daß in der Nacht vom 4. October 1844 um Havanna ein schrecklicher Ocean entstand, welcher von 10 Uhr Abends bis

*) Beiträge zur Witterungskunde. S. 384.

**) Gehler's phys. Wörterbuch. N. B. Bd. X. S. 2042.

3 Uhr Nachmittag des folgenden Tages dauerte. Man hörte ohne Unterbrechung das Gefrach der einstürzenden Häuser, die herzerreißenden Töne der unter den Trümmern Sterbenden, die Schreckenbrufe und die Gebete der bestürzten Lebenden. Von Zeit zu Zeit vermehrten Blitze das Schreckliche dieser Scene. Bei Anbruch des Tages steigerte ein bräunlicher Schimmer das Entsetzen; der Himmel war von schwarzen Wolken verfinstert, durch welche die Sonnenstrahlen nicht hindurch dringen konnten; es war nicht Regen, was herabfiel, sondern Wasserströme stürzten hernieder. Die entfesselte Windsbraut verursachte ein ebenso starkes Getöse, wie die stärksten Donnerschläge. Als der Orcan aufgehört hatte, zählte man 400 Häuser, die zusammengestürzt waren; 70 Menschen hatten ihr Leben verloren; eine große Menge von Schiffen war im Hafen untergegangen. Havanna glich einer Stadt, die eben ein Bombardement ausgehalten hatte. Auf dem freien Felde war kein Baum stehen geblieben; die größten Palmen waren gebrochen oder entwurzelt; die Reisfelder, die Kaffeepflanzungen, die Bananen, Ananas, Kokos, kurz, Alles war vernichtet. Ganze Ortschaften waren verschwunden; Tausende von Thieren umgekommen. Die ganze Insel Cuba bot den traurigsten Anblick dar. Auch auf den Bermudasinseln, auf Portorico, St. Domingo und Jamaika hatte der Orcan gehaust*).

Am 27. October 1856 war auf den Philippinen einer jener Stürme, welche in diesen Gegenden unter dem Namen des Typhon oder Tykon der chinesischen Gewässer bekannt sind**). Bloss in Manila waren nicht weniger als 3500 Häuser zerstört, und nach amtlichen Berichten sind in einem Umkreise von 8 Wegstunden rings um die Hauptstadt über 10000 Häuser ruiniert. Die Ernte wurde gänzlich zerstört; die Obstbäume entwurzelt oder zerbrochen; sechs fremde Schiffe auf den Strand geworfen u. Der Sturm begann gegen Mittag und hielt bis 7 Uhr Abends an.

Hat man an verschiedenen Orten längere Zeit fortgesetzte Beobachtungen über die Windrichtung und die Stärke desselben gesammelt, so betrachtet man, um zu einer Vergleichung der gewonnenen Resultate für verschiedene Orte zu gelangen, die Winde als Kräfte, welche die Atmosphäre eines Ortes zu verrücken streben. Dieß Verfahren ist 1777 zuerst von Lambert vorgeschlagen worden***). Nehmen wir an, Stärke und Dauer der Winde seien bekannt und alle während eines Zeitraumes beobachteten Winde weheten in einem Momente, so können wir sehr leicht bestimmen, woher der Wind komme; welcher dieselbe Fortrückung der Atmosphäre bedinge, als alle diese Winde zusammengenommen. Wir dürfen nach den bekannten Gesetzen von der Zusammenfügung der Kräfte nur die Resultirende aller dieser einzelnen Seitenkräfte suchen. Legen wir hierbei die Zahlen zu Grunde, welche angeben, wie oft der Wind aus einer bestimmten Gegend des Horizontes gekommen sei; rechnen wir hierbei die Peripherie des Horizontes von N. durch O. bis 360°; bezeichnen wir ferner die Zahl, wie oft N., NO. u. geweht haben, mit den Buchstaben dieser Winde, und endlich mit φ den Winkel, welchen die Result-

*) Foissac, de la Météorologie etc. Paris 1834. Part. III. chap. 8.

**) Die westindischen Stürme heißen im Spanischen Tornados, eine Andeutung, daß man sie als Wirbelwinde erkannt hat, und im Englischen Hurricanes.

***) Nouveaux Mémoires de Berlin pour 1777. p. 26.

tirende mit dem Meridiane bildet, diesen Winkel von N. durch O. bis 360° gezählt, so ergibt sich für diesen Winkel der Ausdruck:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{A}{B},$$

wo für 8 Winde, deren jeder von dem folgenden um 45° absteht,

$$A = O - W + (NO + SO - SW - NW) \sin 45^\circ \text{ und}$$

$$B = N - S + (NO + NW - SO - SW) \cos 45^\circ$$

ist, und für 16 Winde:

$$A = O - W + (NNO + SSO - SSW - NNW) \sin 22^\circ 30'$$

$$+ (NO + SO - SW - NW) \sin 45^\circ$$

$$+ (ONO + OSO - WSW - WNW) \sin 67^\circ 30' \text{ und}$$

$$B = N - S + (NNO + NNW - SSO - SSW) \cos 22^\circ 30'$$

$$+ (NO + NW - SO - SW) \cos 45^\circ$$

$$+ (ONO + WNW - OSO - WSW) \cos 67^\circ 30'.$$

Bestimmen wir überdies die Stärke der Resultirenden, so erhalten wir dafür

$$\sqrt{A^2 + B^2}.$$

Nach dieser Lambert'schen Formel wird jetzt gewöhnlich die mittlere Richtung und Stärke des Windes berechnet. Es zeigt sich bei diesem Verfahren jedoch der Uebelstand, daß, wie schon R ä m p und Sch ü b l e r bemerken, die mittlere Windrichtung nach einer Gegend fallen kann, aus welcher der Wind vielleicht gar nicht, oder doch nur selten kommt. Außerdem zeigen Schouw's Untersuchungen *), wie wenig auf dergleichen Resultate zu geben ist, da selbst bei neunjährigen Perioden für Kopenhagen sich Differenzen von nahe 40°, bei einjährigen sogar von 100° in der sogenannten mittleren Windrichtung ergeben. Dove nennt daher auch die mittlere Windrichtung eine bloße Abstraction, welche nie zur Erscheinung kommt. Schouw hat bei seinen Untersuchungen durchgängig das Verhältniß zwischen den östlichen und westlichen, ferner zwischen den nördlichen und südlichen Winden berechnet. Ich selbst halte folgende Art für erfolgreicher und in ihren Resultaten für werthvoller, die ich auch in dem bereits oben erwähnten Programme dargelegt habe. Findet sich in einer Gegend eine gewisse vorherrschende Windrichtung, so scheint es mir nöthig, vor allen Dingen das Gesetz zu ermitteln, welchem diese Hauptrichtung unterworfen ist. Es wäre also die Gegend insbesondere zu bestimmen, aus welcher der Wind am häufigsten weht. Daß diese Gegend mit der nach der Lambert'schen Formel gefundenen Windrichtung nicht zusammen zu fallen braucht, versteht sich von selbst. Sollte die Aufgabe, welche hiermit gestellt ist, noch allgemeiner aufgefaßt werden, so müßte man sich nicht mit der Bestimmung der angedeuteten Hauptrichtung begnügen, sondern vielmehr dieselbe auf die Gegenden ausdehnen, für welche die Windwerthe ein Maximum oder ein Minimum bilden, da wie Dove **) zuerst bemerkt hat, die Windwerthe an den meisten Orten zwei Maxima und Minima bilden. Dove zeigt auch die besondere Wichtigkeit der beiden Maxima, indem er darthut, daß sie auch für die anderen meteorologischen Elemente Extreme sind. Nimmt man an, daß zwischen den drei Windrichtungen, zwischen denen das vorwaltende Maximum zu suchen ist, eine stetige Zu- und Abnahme der Windwerthe

*) Dessen Beiträge zur vergleichenden Klimatologie.

**) Pogg. Ann. Bd. XV. S. 66.

stattfinden würde; bezeichnet man den Winkel mit x , welcher die Lage dieses Maximums, von S. nach W. gerechnet, angiebt; ferner mit v die Stärke und mit a' , a'' , a''' die drei Windwerthe und zwar mit a' den schwächsten, mit a'' den stärksten von ihnen; und hat b , von S. durch W. bis zu dem ersten in der Reihe der drei Winde gerechnet, für S. den Werth 0, für SW. 1 u. s. w.: so ergeben sich folgende Formeln:

$$x = \frac{[2(a'' - a')(1 + b) + (a''' - a')] 220,5}{a'' - a'}$$

wo — gebraucht wird, sobald a' der Reihe nach der dritte Wind ist, und

$$v = \frac{2a'' + a''' - a'}{2}$$

Läge z. B. das Maximum zwischen SW., W. und NW., und wäre NW. < SW., so erhielte man:

$$x = \frac{(4W - 3NW - SW) 220,5}{W - NW}$$

und

$$v = \frac{2W + SW - NW}{2}$$

Aus längere Zeit fortgesetzten Beobachtungsreihen hat man eine Abhängigkeit der Windrichtung von den Jahreszeiten und Tageszeiten zu ermitteln gesucht. Nach Kämpf *) enthalten folgende vier allgemeine Gesetze, welche zum Theil schon Schouw vor ihm abgeleitet hatte, die Verhältnisse der Winde zu den verschiedenen Jahreszeiten für Europa:

- 1) Im Winter ist die Richtung der Luftströmung meistens südlicher, als im Durchschnitte des Jahres; die Stärke dieser Luftströmung ist im Januar, an vielen Orten auch im Februar am größten.
- 2) Im Frühlinge, an manchen Orten im März, an anderen im April, erheben sich häufig Ostwinde, welche die Stärke der westlichen Luftströmung sehr vermindern, so daß diese an allen Orten weit geringer ist, als im jährlichen Durchschnitte; das Verhältniß der nördlichen Winde zu den südlichen ist weniger bestimmt, an einigen Orten ist es größer, an anderen geringer, als im jährlichen Durchschnitte, so daß die Luftströmung im Frühlinge bald nördlich, bald südlich von der jährlichen liegt.
- 3) Im Sommer, namentlich im Julius, wehen die Winde vorzugsweise aus W., das Uebergewicht der westlichen über die östlichen erreicht dann das Maximum, zugleich werden die nördlichen Winde häufiger, so daß die Luftströmung in dieser Jahreszeit nördlich von der mittleren liegt.
- 4) Im Herbst nimmt das Uebergewicht der westlichen Winde ab, dagegen nehmen die südlichen Winde, namentlich im October, sehr schnell zu, dergestalt, daß an vielen Orten die Luftströmung näher an Süden liegt, als in irgend einem anderen Monate.

Nach meinen eigenen Untersuchungen über die Windverhältnisse zu Berlin

*) Meteorol. Bd. 1. S. 247.

erleiht sich für diese Gegend eine mit diesen Verhältnissen vollkommen bestrebbende Uebereinstimmung.

Einen Einfluß der Tageszeiten auf die Windrichtung bezweifelt Schouw; Kämp folgert jedoch aus Schouw's Resultaten, daß eine Bewegung vom Morgen durch S. nach W. und in der Nacht wieder zurück stattfinden scheine, womit auch Ricander's zehnjährige Beobachtungen zu Stockholm in Uebereinstimmung treten. Nach meinen eigenen Untersuchungen über Berlin zeigt sich hier ein zunehmendes Wachsen der westlichen Windrichtung gegen die östliche vom Morgen zum Abende. Ebenso wird vom Nachmittage an die südliche Windrichtung gegen die nördliche immer überwiegender und ist auch Vormittags noch im Wachsen bis Mittag. Meine Resultate über das westliche Maximum zeigen, daß die Richtung desselben vom Morgen bis zum Mittag immer südlicher wird, dann mehr nach Westen geht und in der Nacht das Maximum erreicht. In Rücksicht der Stärke habe ich ein Wachsen von früh zum Abende gefunden. Im Winter zeigte sich das westliche Maximum von früh 8 Uhr bis Mittag 2 Uhr südlicher, als im jährlichen Mittel, für die übrige Zeit westlicher. Im Frühlinge und Sommer ergab sich mir das westliche Maximum zu allen Tageszeiten weiter von Süden als für die entsprechenden Zeiten im Durchschnitte des Jahres; im Herbst hingegen näher. Die Stärke des westlichen Maximums scheint im Frühlinge und Sommer geringer zu sein, als im jährlichen Mittel für die entsprechenden Tageszeiten, im Herbst und Winter dagegen stärker.

Schien mir schon früher eine Abhängigkeit der Windrichtung von den Tageszeiten zugestanden werden zu müssen, so bin ich noch mehr davon überzeugt worden, seitdem Løse für Grefeld nachgewiesen hat*), daß im Laufe des Tages Abweichungen von der Haupt-Windrichtung stattfinden, welche einen so regelmäßigen Verlauf nehmen, daß sie nicht mehr als zufällig zu betrachten sind. Nach demselben betragen die täglichen Schwankungen in Graden der Windrose, mit Zugrundelegung der Lambert'schen Formel:

im Januar	11°	im Juli	54°
• Februar	67°	• August	54°
• März	27°	• September	267°
• April	28°	• October	18°
• Mai	71°	• November	4°
• Juni	76°	• December	21°

und im Mittel aus sechs Jahren 86°.

Steht man vom September und Februar ab, so findet man vom Winter zum Sommer eine so deutlich hervortretende Zunahme, und vom Sommer zum Winter wiederum eine so bestimmte Abnahme der Schwankungen, daß man einen Einfluß der Jahreszeiten anerkennen muß. Außerdem findet derselbe, daß die Ablenkung der Windfahne von Morgens 7 Uhr bis Nachmittags 5 Uhr in der Richtung nach Westen vor sich geht, daß dann eine rückschreitende Bewegung eintritt, welche um 9 Uhr Abends ihr östliches Maximum erreicht und von da an wieder westlich wird, um vielleicht gegen Morgen abermals nach Osten zurückzukehren.

Die Beobachtungen sind in dieser Beziehung noch nicht ausgedehnt genug,

*) Pogg. Ann. Bd. CIV. S. 449.

indessen schon hinreichend, um einen Einfluß auch der Tageszeiten erkennen zu lassen.

Eine Abhängigkeit von den Mondphasen darf man bei der Windrichtung erwarten, da Flaugergue, Pouvard, Eisenlohr, Arago und Schübler eine Abhängigkeit des Regens von der Mondstellung erwiesen haben. Nach Schübler und Pouvard hat sich auch herausgestellt, daß die südwestlichen Winde zur Zeit des zweiten Octanten ihr Maximum, zur Zeit des letzten dagegen ihr Minimum haben. Nach meinen Untersuchungen fällt zu Berlin das westliche Maximum am nächsten an S. zur Zeit des ersten Viertels, entfernt sich am meisten zur Zeit des letzten; mit der größten Annäherung an S. fällt das Maximum der Stärke zusammen, mit der größten Abweichung das Minimum derselben. Das Maximum der südwestlichen Winde fällt auf das erste Viertel, ihr Minimum auf das letzte. Für die nordöstlichen Winde fällt das Minimum auf die Zeit des ersten Octanten und das Maximum auf die des dritten, so daß also das Minimum der nordöstlichen Winde dem Maximum der südwestlichen, und das Maximum der nordöstlichen Winde dem Minimum der südwestlichen vorausgeht. Eine Abhängigkeit der Windverhältnisse von der Mondstellung dürfte mithin nicht zu bezweifeln sein.

Ville neuve glaubt *) zwischen den Luftströmungen, verbunden mit den davon abhängigen Barometerschwankungen, einerseits und den magnetischen Störungen in der Erdrinde andererseits eine nothwendige Beziehung aufgefunden zu haben. Wir begnügen uns mit dieser Notiz, da die Sache noch sehr der Bestätigung bedarf.

Die Kraft der Winde hat Puyss-Ballot mit den gleichzeitigen Barometerschwankungen an einigen Orten der Niederlande verglichen **). Es war während 4 Jahren der größte Unterschied der von Morgens 8 Uhr bis zum folgenden Morgen zu derselben Stunde beobachteten Barometerstände 702 Mal kleiner als 2 Millimeter, 524 Mal zwischen 2 und 4 Millim., 208 Mal größer als 4 Millim. Im ersten Falle ist man beinahe sicher, daß binnen der nächsten 24 Stunden kein Wind von größerer Kraft als 30 Kilogr. auf den Quadratmeter wehe. Im zweiten Falle ist es wahrscheinlich, daß die Windstärke nicht über 40 Kilogr. steige. Im dritten Falle übersteigt die Windstärke 30 Kilogr. 1 Mal unter 5 Fällen, und 40 Kilogr. 1 Mal unter 10 Fällen.

Die Abhängigkeit des Barometerstandes von dem zur Zeit der Beobachtung herrschenden Winde hat sich ohne Ausnahme bestätigt. Für Berlin gilt die Formel ***):

$$h^{(m)} = 335''',1875 + 1''',6908 \sin (m \cdot 45^\circ + 68^\circ 51') + 0''',5292 \sin (m \cdot 90^\circ + 265^\circ 24'),$$

wo für Nordwind $m = n$, für NO $m = 1$ u. zu setzen ist.

Für Paris lautet die Formel:

$$h^{(m)} = 336''',10625 + 1''',24955 \sin (m \cdot 46^\circ + 68^\circ 22') + 0''',277 \sin (m \cdot 90^\circ + 244^\circ 24')$$

oder für das in Millimeter getheilte Barometer im jährlichen Mittel:

*) Compt. rend. T. XL. p. 489.

**) Compt. rend. T. XLV. p. 765.

***) Dove's meteorolog. Untersuchungen. S. 101.

$$h^{(m)} = 755,9284 + 3,4988 \sin (m 22^{\circ} 30' + 80^{\circ} 9') + 0,3355 \sin (m 45^{\circ} + 356^{\circ} 21')$$

oder wohl genauer:

$$h^{(m)} = 756,0202 + 3,6686 \sin (m 22^{\circ} 30' + 79^{\circ} 27') + 0,2325 \sin (m 45^{\circ} + 329^{\circ} 18').$$

Im Allgemeinen steht das Barometer bei den Winden am höchsten, die aus kälteren Gegenden wehen, daher auf der nördlichen Halbkugel bei nördlichen, auf der südlichen bei südlichen. Nach Dove *) gilt für die nördliche Halbkugel: Das Barometer fällt bei O., SO. und Südwinden, geht bei SW. aus Fallen in Steigen über, steigt bei W., NW. und Nordwinden, und geht bei NO. aus Steigen in Fallen über; und für die südliche Halbkugel: Das Barometer fällt bei O., NO. und Nordwinden, geht bei NW. aus Fallen in Steigen über, steigt bei W., SW. und Südwinden, und geht bei SO. aus Steigen in Fallen über:

Ebenso zeigt sich ein Zusammenhang zwischen der Windrichtung und dem Thermometerstande. Auf der nördlichen Halbkugel steigt das Thermometer bei O., SO. und Südwinden, geht bei SW. aus Steigen in Fallen über, fällt bei W., NW. und Nordwinden, und geht bei NO. aus Fallen in Steigen über. Auf der südlichen Halbkugel steigt das Thermometer bei O., NO. und Nordwinden, geht bei NW. aus Steigen in Fallen über, fällt bei W., SW. und Südwinden und geht bei SO. aus Fallen in Steigen über.

Den Zusammenhang zwischen der Windrichtung und der Elasticität des Wasserdampfes drückt Dove so aus, daß auf der nördlichen Halbkugel die Elasticität des Wasserdampfes zunimmt bei O., SO. und Südwinden; ihre Zunahme bei SW. in Abnahme übergeht; sie bei W., NW. und Nordwinden abnimmt, und ihre Abnahme bei NO. in Zunahme übergeht. Auf der südlichen Halbkugel nimmt die Elasticität des Wasserdampfes zu bei O., NO. und Nordwinden, ihre Zunahme geht bei NW. in Abnahme über, sie nimmt ab bei W., SW. und Südwinden; bei SO. geht ihre Abnahme in Zunahme über.

Der Druck der trocknen Luft endlich nimmt ab auf der nördlichen Halbkugel bei O., SO. und Südwinden, seine Abnahme geht bei SW. in Zunahme über, er nimmt zu bei W., NW. und Nordwinden; bei NO. geht seine Zunahme in Abnahme über. Auf der südlichen Halbkugel nimmt der Druck der trocknen Luft ab bei O., NO. und Nordwinden, seine Abnahme geht bei NW. in Zunahme über, er nimmt zu bei W., SW. und Südwinden; bei SO. geht seine Zunahme in Abnahme über.

Das Gemeinsame beider Hemisphären besteht also darin, daß die Veränderungen der meteorologischen Instrumente bei Ostwinden in der nördlichen Halbkugel dieselben sind, als bei Ostwinden in der südlichen. Dasselbe gilt von den Westwinden. Der Unterschied beider Halbkugeln ist nur quantitativ bei NW., NO., SW. und SO.-Winden, hingegen qualitativ bei Nord- und Südwinden, d. h. die Veränderungen der meteorologischen Instrumente sind im Mittel in der nördlichen Hemisphäre am größten bei NW. und SO.-Winden, am kleinsten bei NO. und SW.-Winden; in der südlichen Hemisphäre bei NW. und SO.-Winden am kleinsten, hingegen am größten bei NO. und SW.-Winden. Die Veränderungen bei Nordwinden in der nördlichen Halbkugel sind aber, dem Zeichen nach, verschieden von den Veränderungen bei Nordwinden in der südlichen Halbkugel,

unter gleichen klimatischen Bedingungen aber der Größe nach gleich in beiden. Stellt also auf der nördlichen Erdhälfte ein Instrument bei Nord, so fällt es bei Nord in der südlichen und umgekehrt. Dasselbe gilt von den Südwinden.

Betrachten wir nun noch den Einfluß der Winde auf die Organismen, so drängt sich uns zunächst die allgemeine Bemerkung auf, daß, ungeachtet gewisse Witterungsverhältnisse Veranlassung zu schreckenerregenden Zuständen geben, doch im Allgemeinen ohne den wohlthätigen Einfluß der Winde die Erde fast unbewohnbar wäre. Es ist hier wie mit dem Wasser. Dies hält sich nur durch Bewegung, während es andernfalls durch die Zersetzung der in ihm enthaltenen Thiere oder Thier- und Pflanzenreste dem Leben Gefahr drohende Stoffe in die über demselben ruhende Luft entsendet. So ist auch die Bewegung der Luft, wie Bewegung auf der Erde überhaupt, die erste Bedingung oder wenigstens ein wesentliches Mittel zur Erhaltung des Lebens. Wir erinnern hierbei nur an die Nothwendigkeit der Ventilationen der Wohnungen. Durch die stete Bewegung der atmosphärischen Luft wird ein Ausgleichen oder wenigstens eine größere Harmonie in den Temperaturen auf der Erdoberfläche bewirkt.

Betrachten wir die Verhältnisse näher, so finden wir, daß die Seewinde, welche an den Küsten des Tropenmeeres sich täglich einstellen, bei der brennenden Gluth des dortigen Himmels eine wahre Erquickung sind. Ferner führen die Winde die aus dem Meere aufsteigenden Dünste den verschiedensten Gegenden der Erde zu und werden so eine wesentliche Bedingung der Fruchtbarkeit. Außerdem tragen sie Saamenstaub von Pflanzen bis in die fernsten Länder, und durch sie wird die Befruchtung mancher wichtigen Pflanze, z. B. des Palmbaumes, fast allein bewirkt. In Hinsicht ihrer Temperatur, ihres Feuchtigkeitszustandes, ihres Vorrherrschens und ihrer Intensität üben die Winde unstreitig einen höchst beachtungswerthen Einfluß auf die Organismen aus. Nur ein Beispiel sei angeführt über die Wirkung des Sirocco, welches wir aus Kossia's Meteorologie Abschnitt III. Cap. 6 entnehmen.

Es war Ende Juli 1846; eine große Anzahl der Soldaten war auf dem Marsche in den Steppen der Wüste Ghott zwischen Oran und Mameen in Algerien bereits von der Hitze gefallen. Da überfiel der Sirocco die kleine Colonne. Die trockene, matte und entkräftende Luft dieses Windes erschwerte das Athemholen; die Lippen und die Nasenlöcher sprangen auf und schmerzten um so mehr, da der Wind den heißen Sand der Wüste auführte; die Kehle war wie zugeschnürt, der Bauch schmerzte, wie beim Abdrücken. Die Hitze kam wie in Stößen, auf die bisweilen ein ordentlicher Schauer folgte, und hatte eine Schwäche zur Folge, die fast ohnmächtig machte. Der Puls war bald stark und voll, bald schwach und unregelmäßig, bisweilen wellenförmig und auffallend langsam. Neben diesen Symptomen hatten einige Leute das Gefühl, als ob sie vor den Kopf geschlagen wären, andere waren geblendet; einige hörten allerlei fremdartiges Getöse, anderen schlotterten die Beine. Das Gesicht war mit Blut unterlaufen, die Lippen sahen blau aus; Alles deutete auf einen Schlagfluß und Blutandrang nach dem Gehirn. Der Schweiß floß in Strömen und das Wasser, welches in reichem Maße getrunken wurde, ohne den unauslöschlichen Durst zu stillen, vermehrte nur noch die Beschwerden, die Engbrüstigkeit und die Leibschmerzen. Niemand vermochte

vorwärts zu gehen, unwillkürlich drehte und wendete man sich nach allen Seiten. Unter den Zelten erstickte man fast; in freier Luft beklemmten wieder die heißen Windstöße. Die Hunde waren unruhig, liechten, suchten fortwährend andere Stellen, als ob sie auf einer erhigten Platte gingen, und viele von ihnen kamen um.

Nach dem Urtheile vieler Aerzte haben die Winde den entschiedensten Einfluß auf den Gesundheitszustand. Es möchte sich auch nicht bestreiten lassen, daß Ausströmungen und Ausdünstungen, sonst der Wahrnehmung sich entziehende Gifte, Miasmen, durch die Winde in die weiteste Ferne geführt werden. Die Malaria in Rom, welche in den Ausdünstungen der 10 Meilen entfernten pontinischen Sümpfe begründet ist, gewährt für dergleichen Verhältnisse einen schlagenden Beleg. Foissac sagt, man sollte keine Stadt, ja nicht das geringste Dorf anlegen, wenn man nicht vorher die vorherrschende Richtung des Windes an der dazu bestimmten Stelle untersucht hätte. Derselbe macht überdies in Bezug auf Paris folgende Bemerkung, die auch anderwärts Beachtung verdienen möchte. Zu Paris weht der Westwind am häufigsten, nämlich durchschnittlich an 70 Tagen des Jahres. Nun denke man sich an der Mayenne, Sarthe und Touraine Verhältnisse, wie in dem agro romano, und die Pariser Bevölkerung würde durch Wechselfieber decimirt und in ihrer Kraft gebrochen werden. Läge eine solche Stelle in der Picardie, in der Champagne oder in Bourgaund, so würde dies für Paris lange nicht so gefährlich sein, da die Nordost-, Ost- und Südostwinde zusammen im Durchschnitte jährlich nur 66 Tage wehen. Man beklagt sich oft und mit Recht über die Ausdünstungen, welche der Ager von Monsaucon über Paris verbreitet, und schreibt diesen auch mit Recht den schlimmen Charakter zu, welchen die Wunden der Kranken in dem Hospital St. Louis annehmen; aber die Wirkung würde noch viel schlimmer sein, wenn dieser Verwesungsherd im Westen von Paris läge. — Wir sehen hieraus, welchen Einfluß die Winde auf den Wohlstand ganzer Orte ausüben, und wie durch dieselben die Zukunft der ganzen bürgerlichen Gesellschaft auf das Spiel gesetzt werden kann. G. G.

Windfahne, s. Anemoskop.

Wismuth, Bismuth, Markasit oder Aschblei (lat. Bismuthum, Marcasita, franz. bismuth, etain de glace, engl. Tin glass, Marcasita) ein Metall. Chemisches Zeichen = Bi Aequiv.: 2660,8 (O = 100) oder 213 (H = 1)*).

Das Wismuth soll schon den Alten bekannt gewesen sein, doch wurde es von diesen bald mit Silber, bald mit Blei oder Zinn verwechselt. Unterschieden wurde das Wismuth zuerst im 15. Jahrhundert durch Basilus Valentinus; über die Natur desselben war man doch noch lange zweifelhaft. Bald rechnete man es zu den Halbmetallen, bald zu den Metallen und dann wieder war man der Ansicht, bis über die Mitte des 18. Jahrhunderts hinaus, daß das Wismuth künstlich bereitet werde. Zuerst war es Pott, der 1739 die Eigenthümlichkeiten des Wismuth genauer kennen lehrte und dann Bergmann, bis zuletzt Berzelius zum Beschluß die nöthige Klarheit herstellte.

*) Nach Versuchen von Schneider †) ist das Aequivalent des Wismuth = 206 (H = 1) oder 2398,8 (O = 1).

†) Pogg. Ann. Bd. XXII. S. 303.

In sehr bedeutenden Mengen kommt das Wismuth in der Natur nicht vor. Wir finden es gediegen theils in meist undeutlichen und verzerrten Krystallen, baumförmig und federartig gruppirt, theils gestrichelt, zahnig, drahtförmig, moosförmig oder in federartig gestreiften Blechen (Federwismuth), theils verb, eingesprengt oder angeslogen auf Gängen im Gneise, Glimmer- und Thonschiefer, seltener in jüngeren Gebirgen. Es kommt vor in Baden, Hessen, am Harz, im Erzgebirge auf sächsischer und böhmischer Seite, Kärnten, Cornwall, Norwegen und Nordamerika.

Außerdem findet sich das Wismuth in Verbindung mit Sauerstoff als Wismuthoxyd, als Ueberzug, eingesprengt oder verb und als Wismuthblende (Blenderz, Eulytin, Kieselwismutherz) mit 69,38 Proc. Wismuthoxyd; mit Schwefel verbunden als Wismuthglanz (Bi S^2) mit 80,78 Proc. Wismuth, Nadelerz [$(\text{Cu S} + \text{Bi S}^2) + 2 (3 \text{ Pb S} + \text{Bi S}^2)$] mit 36,45 Proc. Wismuth, Kupferwismutherz (Wismuthfahlerz) mit 47,24 Proc. Wismuth und Wismuthbleierz (Wismuthsilbererz) mit 27 Proc. Wismuth. Andere Wismutherze sind Wismuthnickelkies (Nickelwismuthglanz) mit 14,11 Proc. Wismuth, Wismuthkobaltkies mit 3,89 Proc. Wismuth, Tetradymit (Markasitglanz) mit 59,84 Proc. Wismuth, Tellurwismuth (Wismuthspiegel) mit 61,15 Proc. Wismuth und Wismutbit (ein mit basischschwefelsaurem Wismuthoxyd vermischtes kohlensaures Wismuthoxyd).

Zur Gewinnung des Wismuth benutzt man in der Regel das gediegene Wismuth, das stets mit Bergart, Kobalt, Blei, Silber, Arsenik u. gemengt ist. Die Ausbringung des Metalles ist mit keinen großen Schwierigkeiten verknüpft. Es genügt eine einfache Seigerung. Zu diesem Ende bringt man in Sachsen das Erz in gußeiserne Retorten, die leicht geneigt aufgestellt sind. Man erhitzt dann; das Wismuth schmilzt zuerst und läuft in gußeiserne Schalen. Um eine Oxidation des Wismuth und eine Legirung desselben mit dem Eisen zu verhüten, wirft man gemeinhin ein wenig Holzkohlenpulver in die Schalen. Bei Verarbeitung der Schwefelverbindungen werden diese erst geröstet und dann mit Kohle ausgeschmolzen.

Das auf diese Art bereitete käufliche Wismuth ist nie ganz rein, sondern enthält stets geringe Mengen von den Metallen, mit denen es in der Natur zusammen vorkommt. Soll es gereinigt werden, so schmilzt man es mit dem zehnten Theile seines Gewichtes Salpeter oder man röstet es so lange auf einer Kapelle, bis diese das geschmolzene Wismuthoxyd vollständig eingesogen hat. Arsenik geht hierbei fort und die fremden Metalle bleiben auf der Kapelle zurück. Letztere wird dann gepulvert und mit Kohle ausgeschmolzen. Zur Darstellung von chemisch reinem Wismuth löst man das käufliche in Salpetersäure auf und schlägt durch Zusatz von vielem Wasser basisch salpetersaures Wismuthoxyd nieder. Den Niederschlag digerirt man mit Kalilauge um die arsenige und Arsenik-Säure zu entfernen und reducirt den sorgfältig ausgewaschenen Rückstand durch schwarzen Fluß.

Das Wismuth besitzt eine weiße Farbe, jedoch mit einem entschieden röthlichen Stich, einen starken Glanz und eine stark blättrige Structur. Es ist sehr spröde, läßt sich daher nicht durch Hammerschläge ausdehnen, wohl aber leicht pulvern. Dabei ist es sehr wenig zähe, so daß ein Stab von $\frac{1}{10}$ Zoll im Durchmesser nur 40 Pfund trägt, und klänglos. An der Luft verändert sich das Wismuth nicht, in Berührung mit Wasser aber bildet sich kohlensaures Wismuthoxyd

und Wismuthoxydhydrat, während die Oberfläche braunroth und dann blau anläuft. Es schmilzt bei 260° , also leichter als Blei. Geschieht das Erhitzen bei Luftzutritt, so findet gleichzeitig eine Oxydation statt; in der Weißgluth entzündet es sich und verbrennt mit schwach bläulicher Flamme zu Oxyd. Erhitzt man es bei Ausschluß der Luft, so verflüchtigt es sich, jedoch erst bei einer sehr hohen Temperatur. Das reine Wismuth besitzt ein spec. Gew. = 9,65 — 9,80, das käufliche = 9,78 — 9,83. Durch einen bedeutenden Druck wird indessen die Dichtigkeit beträchtlich vermindert, z. B. durch einen Druck von 200,000 Pfd. bis auf 9,57.

Das Wismuth liefert das schönste Beispiel für die Krystallisationsfähigkeit der Metalle. Es krystallisirt in ausgezeichnet schönen Würfeln und Tetraedern, die man am sichersten auf folgende Weise erhält. Man schmilzt eine größere Menge Wismuth in einem Tiegel und stellt diesen, damit die Erkaltung nur langsam eintrete, in heißen Sand. Um zu verhindern, daß die Oberfläche des Metalles zu rasch fest werde, bedeckt man den Tiegel mit einer stark erhitzten eisernen Platte, die außerdem noch mit glühenden Kohlen belegt wird. Ist das Metall an der Oberfläche erkaltet, im Innern aber noch flüssig, so durchlöchert man die feste Kruste mittelst einer glühenden Kohle oder eines glühenden eisernen Stabes und schüttet den flüssigen Inhalt aus. Die Krystalle überziehen sich an der Luft sehr leicht mit einer dünnen Oxydschicht, in Folge deren sie in den Regenbogenfarben schillern. Nach Duesnevillle*) soll man beim Schmelzen des Wismuth von Zeit zu Zeit geringe Mengen Salpeter hinzusetzen und diesen zersetzen. Man fährt mit dem Salpeterzusatz einige Stunden fort, bis eine Probe des Metalles an der Luft geschüttelt, prächtige grüne oder goldgelbe Farben darbietet und diese beim Erkalten bleiben. Zeigt dagegen das Metall nur rosenrothe, violette oder indigblaue Farben und ist es beim Erkalten nur weiß, ohne allen farbigen Reflex, so erfolgt keine schöne Krystallisation.

Auffallender Weise besitzt das Wismuth in einem hohen Grade die Eigenschaft, während des Erstarrens sich mit starker Gewalt auszudehnen, also im festen Zustande einen größeren Raum einzunehmen wie im flüssigen. Es behält diese Eigenschaft auch in Verbindung mit anderen Metallen und theilt sie verschiedenen Legirungen in einem höheren oder geringeren Grade unter eigenthümlichen, für jede Art der Zusammensetzung bestimmten Modificationen mit**). Durch leichte und belehrende Versuche kann man sich hiervon überzeugen. Man schmelze Wismuth in einem eisernen Löffel oder in einer Glasröhre und lasse es dann allmählig erstarren. Nach einigen Minuten, wenn man glaubt, der ganze Inhalt sei bereits erstarrt, beobachtet man eine Bewegung an der Oberfläche, dann plötzlich bringt an einer oder mehreren Stellen das Metall aus dem Innern hervor und nimmt beim Erkalten sphäroidische Formen an, die, wie das Blättergefüge zeigt, mit der übrigen Masse innig zusammenhängen. Bei einem Versuch, wo 52,351 Grm. Wismuth geschmolzen wurden, betrug das aus dem Innern Hervorgequollene 1,012 Grm. Nach Schneider***) treten diese Erscheinungen jedoch nur bei unreinem Wismuth auf, bei chemisch reinem nicht; ja, die während des

*) Schweigger's Journ. Bd. LX. S. 378.

**) Ebenda Bd. LVIII. S. 484.

***) Ver. d. Berliner Akad. 1855. S. 495.

Erstarrens hervordringenden Wismuthkugeln besitzen einen hohen Grad von Reinheit. Selbst dann, wenn das angewandte Metall eine bedeutende Menge fremdartiger Stoffe (Schwefel, Arsenik, Eisen, Nickel, Kupfer, Silber) enthält, wurden bis zu 50 Proc. hervorgetragener Wismuthkugeln erhalten, die stets über 95,5 Proc. Wismuth enthielten. Bemerkenswerth ist, daß von den schweren Metallen nur das Silber dem Wismuth beim Heraustreten folgt, während das Kupfer vollständig in der Grundmasse zurückbleibt. Dennoch scheint es, daß diese Erscheinung nicht in der Ausdehnung des Wismuths seinen Grund habe, sondern darin, daß die Legirungen des Wismuth, d. h. die Verbindungen desselben mit den es verunreinigenden Metallen, sich beim Erstarren ausdehnen und das wegen seines niedrigen Schmelzpunktes noch flüssige Wismuth herausdrängen. Die fremden Stoffe sind zu dieser Zeit bereits fest und können daher dem Wismuth nicht folgen. Nach Schneider kann man dieses Verhalten wahrscheinlich zu einer Reinigung des Wismuth benutzen.

Das krystallisirte Wismuth hat für Wärme und Elektricität eine verschiedene Leitungsfähigkeit, wenn man die Richtung der Leitung vergleicht mit der Richtung, nach der es sich leichter spalten läßt. Zusammendrücken bringt dieselbe Verschiedenheit hervor. Diese Differenzen im krystallisirten oder gepreßten Wismuth stehen in einer bestimmten Beziehung zur Gleichgewichtslage des Wismuth zwischen den Magnetpolen und zu den thermoelektrischen Eigenschaften dieses Metalles. In letzterer Beziehung hat z. B. Svanderberg gefunden*), daß Stäbchen, die aus krystallisirten Wismuthmassen parallel mit dem Hauptblätterdurchgange (A) geschnitten, in der thermoelektrischen Reihe positiver und die, welche senkrecht auf diese Richtung, also parallel mit der Hauptaxe des Krystalls (B) geschnitten, negativer sind, als alle übrigen aus demselben Metall geschnittenen Stäbe, d. h. jedes der letzteren ist gegen A negativ und gegen B positiv. Kommen zwei Wismuthstäbchen A von ungleicher Temperatur mit einander in Berührung, so wird ein Strom in der Richtung vom kalten zum warmen Stäbchen erzeugt, umgekehrt aber bei zwei Stäbchen B.

Von Chlornasserstoffsäure wird das Wismuth nur sehr schwierig und in geringer Menge aufgelöst, von Salpetersäure jedoch sehr leicht. Gießt man rauchende Salpetersäure auf gepulvertes Wismuth, so ist die Einwirkung so stark, daß man ein Erglühen beobachtet. Concentrirte Schwefelsäure verwandelt das Wismuth in der Hitze in Oxyd, indem ein Theil der Schwefelsäure zersetzt wird. Mit Schwefel, Phosphor, Chlor etc. verbindet sich das Wismuth direct. In der Weißglühhitze vermag Wismuth das Wasser zu zersetzen. Aus einer Lösung von Wismuthchlorür fällt Wismuth Metall, wenn man zuerst Salzsäure und dann Wasser darauf geschichtet hat.

Sobald das Wismuth zu medicinischen Zwecken gebraucht werden soll, muß es chemisch rein sein. Es muß sich leicht und vollständig in Salpetersäure auflösen und aus dieser Lösung mit Wasser niederschlagen, darf die Flüssigkeit nicht die bekannten Reactionen der mit dem Wismuth häufig vorkommenden Metalle zeigen. Besonders acht muß man auf Arsenik geben, dasselbe wird leicht durch das Löthrohr oder durch den Marsh'schen Apparat erkannt.

*) Compt. rend. T. XXXI. p. 230.

Das Wismuth verbindet sich mit dem Sauerstoff in vier verschiedenen Verhältnissen: Wismuthorydul (Bi O), Wismuthoryd (Bi O^2), Wismuthsuperoryd (Bi O^3) und Wismuthsäure (Bi O^5).

Das Wismuthorydul (Bi O) ist erst jüngst von Schneider im reinen Zustande dargestellt worden*), obgleich dessen Existenz schon seit langer Zeit wegen der leicht darstellbaren analogen Schwefelstufe sehr wahrscheinlich war und viele Versuche, dasselbe darzustellen, vergebens gemacht worden waren. Gießt man eine Lösung von 1 Aeq. Wismuthoryd und 1 Aeq. Zinnchlorür in eine mäßig concentrirte Kalilösung, so entsteht ein schwarzbrauner Niederschlag, der aus Zinnsäure und Wismuthorydul besteht und dem die erste durch concentrirte Kalilösung vollständig oder bis auf Spuren entzogen werden kann. Im Hydratzustande ist das Wismuthorydul ein schwarzes schweres Pulver, welches unter dem Polirstahl einen tiefen schwarzen, durchaus nicht metallischen Strich giebt. Unter dem Mikroskope erscheint es krystallinisch und frei von Metall. Von flüssigen Säuren wird das Orydul nicht aufgelöst; es zerfällt hierbei wie die Suboxyde in Oxyd und Metall. Sobald aber das Wismuthorydul im Entstehungsmoment mit Säuren zusammen kommt, so vermag es die Rolle einer salzfähigen Base zu spielen. Im feuchten Zustande nimmt es ziemlich schnell Sauerstoff aus der Luft auf; im Vacuum getrocknet zeigt es sich bei gewöhnlicher Temperatur ziemlich beständig, wird es aber bei Luftzutritt erhitzt, so verglimmt es zu Wismuthoryd. Vor dem Löthrohr reagirt das Wismuthorydul wie das Kupferorydul, sobald es mit Phosphorsalz behandelt wird.

Das Wismuthoryd (Bi O^2) erhält man am leichtesten durch Erhitzung des basisch salpetersauren Wismuthorydes. Es ist ein strohgelbes Pulver, das sich beim Erhitzen stärker färbt; bei stärkerer Hitze schmilzt es zu einem Glase, das nach dem Erkalten gelb und krystallinisch erscheint. Das geschmolzene Wismuthoryd äußert eine große auflösende Kraft auf andere Oxyde, weshalb es auch ebenso leicht wie das Bleioryd die Schmelzgefäße durchdringt. Mit Kieselerte schmilzt es zu einem farblosen Glase. Das Wismuthoryd ist nicht flüchtig und wird durch Glühen mit organischen Substanzen oder Kohlenpulver, so wie durch Wasserstoffgas leicht zu Metall reducirt. Dasselbe geschieht durch Schmelzen des Wismuthorydes mit Cyankalium und zwar so vollständig, daß man sich nach H. Rose dieser Methode zur quantitativen Bestimmung des Wismuth in oxydirten Verbindungen bedienen kann. In Säuren ist es leicht löslich. Spec. Gew. = 8,45. Fällt man eine Lösung der Wismuthorydsalze durch ätzende Alkalien, so erhält man weißes Wismuthorydhydrat. Beim Kochen verliert das Hydrat das Wasser und wird gelb und krystallinisch.

Das Wismuthoryd findet in der Technik einige Verwendung. Man benutzt es, um die Wirkung der Farben zu zerstören, welche durch einige Flußmittel entstehen und auch zum Anhaften der Vergoldung auf Porzellan. Schon zu Agricola's Zeiten diente das Wismuthoryd als Farbe.

Das Wismuthoryd ist eine schwache Base, die mit mehreren Säuren krystallisirbare Salze bildet. Einige derselben lösen sich zwar in Wasser auf, aber gemeinhin erleiden sie hierbei eine Zersetzung; ein basisches Salz scheidet sich ab, während ein sehr saures Salz in Lösung geht. Setzt man zu der überstehenden

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 43.

Lösung Salzsäure oder Salpetersäure in hinreichender Menge, so löst sich das basische Salz wieder auf. Die basischen Salze sind auch, mit Ausnahme des basischen Chlornismuth, in sehr vielem Wasser auflöslich.

Unter den Wismuthoxydsalzen ist das salpetersaure Wismuthoxyd das wichtigste. Beim Abdampfen einer Auflösung von Wismuth in Salpetersäure schießen große, durchsichtige und farblose Krystalle ($\text{BiO}^3 \cdot 3 \text{NO}^5 + 9 \text{HO}$). Es sind sechs- oder achteckige gedrückte Säulen oder Nadeln. Sie verwittern an der Luft und lösen sich in verdünnter Salpetersäure auf. In wenig Wasser löst sich das salpetersaure Wismuthoxyd gleichfalls auf; nimmt man aber das 20 bis 30fache Wasser, so scheidet sich ein basisches Salz ab. Vermehrt man das Wasser, so löst sich viel von dem basischen Salz auf, das man bei erneutem Zusatz von Wasser endlich ganz zum Verschwinden bringen kann. Daß die Lösung des Wismuth in Salpetersäure durch Wasser gefällt wird, kannte bereits Libavius um 1600; er unterschied dadurch ganz richtig das Zink vom Wismuth. Schon bei 27°C . geht ein Theil der Säure fort; erhitzt man stärker und längere Zeit, so bleibt endlich reines Wismuthoxyd zurück. Reibt man salpetersaures Wismuthoxyd und Phosphor zusammen, so erfolgt eine heftige Explosion, eine schwächere, wenn man das erstere auf glühende Holzkohlen streut. Es wird zu medizinischen Zwecken benutzt und namentlich zur Darstellung des basisch salpetersauren Wismuthoxydes (Perlweiß, Schminkeweiß, Wismuthweiß, spanisches Weiß, lat. Bismuthum subactricum, Magisterium Bismuthi; franz. blanc d'Espagne; engl. Basic nitrate of Bismuth, magistery of Bismuth, pearl white, pearl powdes). Bei der Bereitung dieses Präparates muß man sich, sofern es als Arzneimittel dienen soll, genau nach der Vorschrift der betreffenden Pharmacopöe richten, denn je nach der Menge Wasser, die man zum Fällern und Auswaschen verwendet, erhält man ein verschieden zusammengesetztes Salz. Die preuß. Pharmacopöe schreibt vor 4 Theile des neutralen salpetersauren Wismuthoxydes in einem Mörser zu zerreiben und nach und nach mit 16 Th. kalten destillirten Wassers zu mischen. Die Mischung soll man in 24 Theile kochenden destillirten Wassers eingießen, sich absetzen lassen, die Flüssigkeit abgießen, den Niederschlag abpressen, aber nicht auswaschen. Befolgt man diese Vorschrift genau, so erhält man stets ein Präparat von gleicher Zusammensetzung. Nach Dieck *) enthält dasselbe in Folge dreier Analysen und zweier Darstellungen 80,05 bis 80,16 Proc. Wismuthoxyd. Jedoch ist dies Präparat nicht genau nach stöchiometrischen Gesetzen zusammengesetzt. Man könnte die Formel: $(\text{NO}^5 \cdot \text{BiO}^3) + \text{HO}$ dafür aufstellen, jedoch weichen die hiernach berechneten Zahlen schon merklich von den Resultaten der Versuche ab. Es enthält zu wenig Salpetersäure und zu viel Wismuthoxyd. Je mehr Wasser zur Fällung verwendet wird, je höher die Temperatur des Wassers und je länger das letztere mit dem Niederschlage in Berührung bleibt, um so mehr Salpetersäure wird dem neutralen Salz entzogen; die Ausbeute fällt aber auch darum geringer aus, weil das basische Salz nicht unlöslich in Wasser ist. Kocht man den Niederschlag immer wieder von Neuem mit Wasser aus, so kann man endlich alle Salpetersäure daraus entfernen und es bleibt Wismuthoxydhydrat zurück. Dafür wurde dieses Präparat auch lange Zeit gehalten bis Scopoli und Buchholz zeigten, daß Salpetersäure einen wesentlichen Bestandtheil desselben ausmache.

*) Zeitschr. f. d. gesammte Naturwissensch. Bd. VII. S. 159.

Man muß bei der Bereitung dieses Präparates ja darauf achten, daß in dem Wismuth kein Arsen enthalten ist. Wie dasselbe entfernt wird, haben wir bereits angegeben. Mit weniger Kosten kann man nach D u f l o s das Arsen fortchaffen, wenn man 100 Th. des neutralen Salzes in 2 bis 300 Th. warmen Wassers auflöst. Das arseniksaure Wismuthoxyd bleibt ungelöst und wird durch Filtriren abgeschieden.

Das basisch salpetersaure Wismuthoxyd ist ein weißes, lockeres Pulver, welches unter dem Mikroskop in kleinen krystallinischen Blättchen erscheint. Wird es aus sauren Lösungen mit wenig Wasser dargestellt, so sind die Krystalle nadelförmiger und von einem seidenartigen Glanze. Am Lichte schwärzt sich das basisch salpetersaure Wismuthoxyd.

Man benutzt es gleich dem Wismuthoxyde in der Porzellanmalerei und außerdem als Schönheitsmittel (Schminke). Leider aber besitzt es die unangenehme Eigenschaft durch Schwefelwasserstoff geschwärzt zu werden.

Das schwefelsaure Wismuthoxyd ($\text{Bi O}^3 \cdot \text{B SO}^3$) ist weiß; es wird durch Wasser in ein lösliches sehr saures Salz und in ein unlösliches dreibasisches Salz ($\text{Bi O}^3 \cdot \text{SO}^3 + \text{HO}$) zerlegt. — Zerlegt man die Lösung des salpetersauren Wismuthoxydes mit kohlensaurem Natron, so erhält man einen weißen Niederschlag (basisch kohlensaures Wismuthoxyd $\text{Bi O}^3 \cdot \text{CO}^2$). Beim Erhitzen geht die Kohlensäure sehr leicht fort, so daß nur Wismuthoxyd zurückbleibt.

Das chromsaure Wismuthoxyd hat dadurch in jüngster Zeit Interesse gewonnen, daß es seiner Unlöslichkeit wegen zur quantitativen Bestimmung des Wismuth und namentlich zur Trennung desselben vom Cadmium dienen kann*). Giebt man eine möglichst wenig freie Säure enthaltende Auflösung von salpetersaurem Wismuthoxyd in eine mäßig concentrirte Lösung von saurem chromsaurem Kali, so entsteht ein eigelber, flockiger, voluminöser Niederschlag, der sich später krystallinisch zusammenzieht und sehr dicht, schwer und körnig wird. Er ist in kochendem und kaltem Wasser unlöslich, läßt sich bei 100 bis 125° C. trocknen, ohne eine Zersetzung zu erleiden. Beim Glühen aber zerlegt er sich. Salpetersäure und Salzsäure lösen das gelbe Salz leicht auf; die Lösung wird auf Zusatz von Wasser zerlegt. Es scheidet sich basisch salpetersaures Wismuthoxyd oder basisches Chlornismuth ab. Das Salz hat constant die Zusammensetzung $\text{Bi O}^3 \cdot 2 \text{Cr O}^3$ und enthält 69,48 Wismuthoxyd. — Mit neutralem chromsaurem Kali giebt salpetersaures Wismuthoxyd einen Niederschlag, der nach dem Auskochen mit Wasser ein citronengelbes Pulver darstellt, das unlöslich in Wasser, leicht löslich in Salpetersäure und Salzsäure ist und beim Glühen sich nicht zerlegt. Formel $3 \text{Bi O}^3 + 2 \text{Cr O}^3$. Reicht die Säure zur Lösung nicht aus, so entzieht sie dem Salze 2 At. Wismuthoxyd und im Rückstande bleibt ein Salz von der Formel $\text{Bi O}^3 \cdot 2 \text{Cr O}^3$.

Kocht man Wismuthoxyd mit unterchlorigsaurem Natron, so erhält man ein Gemenge von Oxyd mit Superoxyd, aus welchem das erstere durch Salpetersäure ausgezogen werden kann. Das Wismuthsuperoxyd (Bi O^4) ist ein dunkelbraunes Pulver. Es verhält sich in der Hitze und gegen Säuren im Allgemeinen wie das Bleisuperoxyd, nur wird es durch schweflige Säure nicht zu Oxyd deoxydirt.

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVII. S. 463.

Die Wismuthsäure ($\text{BiO}^3 + \text{HO}$) erhält man, wenn man Chlor durch eine concentrirte siedende Kalilösung, in der sich frisch bereitetes Wismuthoxydhydrat suspendirt befindet, leitet oder wenn man ein Gemenge von Kalihydrat und Wismuthoxyd oder besser ein Gemenge von Kalihydrat, Wismuthoxyd und chlorsaurem Kali längere Zeit beim Zutritt der Luft glüht. Ein Theil des Oxydes bleibt jedoch stets unverändert und dann bildet sich auch wismuthsaures Kali; beide werden durch kalte verdünnte Salpetersäure entfernt. Die Wismuthsäure bildet ein hellrothes Pulver, das bei einer Temperatur von wenig über 1000°C. einen Theil des Sauerstoffs verliert. Durch concentrirte Säuren wird es gleichfalls zersetzt und zwar zu Oxyd (BiO^3), das sich mit den Säuren zu Salzen verbindet. Die Wismuthsäure geht mit dem Wismuthoxyde verschiedene Verbindungen ein, die noch nicht genauer untersucht sind. Aus diesen kann das Wismuthoxyd durch Salpetersäure ausgezogen werden, während die Wismuthsäure ungelöst zurückbleibt.

Mit dem Schwefel verbindet sich das Wismuth zwar sehr leicht direct, aber wenn man beide zusammenschmilzt, so hält es doch sehr schwer eine bestimmte Verbindung zu erhalten. Beim ersten Zusammenschmelzen bleibt immer eine gewisse Menge des Wismuths unverbunden zurück. Man muß daher die geschmolzene Masse pulvern und abermals mit Schwefel zusammenschmelzen. Selbst wenn man dreifach Schwefelwismuth und Wismuth zusammenschmilzt, erhält man nicht eine niedrigere Schwefelungsstufe (BiS^2) in bestimmten Verhältnissen. Je nachdem die Temperatur beim Schmelzen höher oder niedriger war, geht mehr oder weniger Schwefel fort. Man kann sogar aus dem dreifach Schwefelwismuth durch Schmelzen fast allen Schwefel austreiben. Das Schwefelwismuth (BiS^3) stellt eine graue Masse dar, die metallischen Glanz und ein strahliges Gefüge besitzt. Aus größeren Massen schießen Krystalle an von der Form des in der Natur vorkommenden Wismuthglanzes. Dieselben Krystalle erhielt Durocher *) als er Schwefelwasserstoff auf die Dämpfe von Wismuthchlorid einwirken ließ. — Durch Schmelzen mit Cyankalium wird das Wismuth vollständig als Metall abgetrennt.

Auf nassem Wege erhält man das Schwefelwismuth als ein schwarzes Pulver, wenn man Schwefelwasserstoffgas in eine Auflösung eines Wismuthoxydsalzes leitet. Dasselbe löst sich in Schwefelkalium auf und scheidet sich dann an den Wandungen in dunkelgrauen, metallglänzenden Krystallen ab, die denen des Schwefelantimon sehr ähnlich sind. — Gegen Oele verhält sich das Wismuth beim Zusammenschmelzen ähnlich wie gegen Schwefel.

Mit dem Chlor verbindet sich das Wismuth direct; ist das letztere sehr fein gepulvert, so entwickeln sich bedeutende Mengen von Wärme und Licht. Das Wismuthchlorid (BiCl^3) ist flüchtig, erstarrt aber zu einer weißen, leicht schmelzbaren Masse, woher auch der Name Wismuthbutter stammt. Man erhält diese Verbindung auch, wenn man 1 Th. Wismuth und 2 Th. Quecksilbersublimat destillirt. Das Wismuthchlorid löst sich in Wasser, das Chlornasserstoffsäure enthält; durch reines Wasser wird es zersetzt. In Folge der freiverdenden Chlornasserstoffsäure löst sich ein Theil des Chlorides auf, der größte Theil aber bleibt als ein Oxydchlorid [$\text{BiCl}^3 + 2(\text{BiO}^3 + 3\text{HO})$] in Form eines weißen Pulvers

*) Compt. rend. T. XXXII. p. 823.

zurück. Dieselbe Verbindung erhält man auch, wenn man eine Lösung von salpetersaurem Wismuthoxyd in eine Kochsalzlösung gießt. Der Niederschlag ist schön weiß und krystallinisch. Er wird auch als Schminke angewendet.

Das Wismuthchlorid zieht sehr schnell Feuchtigkeit aus der Luft an; es zerfließt und krystallisiert dann als Hydrat. Löst man Wismuth in Königswasser auf und dampft die Lösung ab, so schießt gleichfalls das Hydrat in Krystallen an.

Neuerdings hat Schneider auch das Wismuthchlorür (Bi Cl) dargestellt*), indem er ein inniges Gemenge von 1 Th. gepulvertem Wismuth und 2 Th. Quecksilberchlorür längere Zeit hindurch bei Abschluß der Luft einer Temperatur von 230 bis 250° C. aussetzte. Das über dem Quecksilber sich als schwarze geschmolzene Masse ansammelnde Wismuthchlorür kann durch mehrmaliges Umschmelzen bei Abschluß der Luft und längeres Verweilen im Metallbade von dem anhaftenden Quecksilber fast vollständig befreit werden. Das Wismuthchlorür besitzt einen matten Glanz und einen unebenen erdigen Bruch ohne deutliche Zeichen von Krystallisation. Es ist stark hygroskopisch; durch Wasser scheidet sich basisches Wismuthchlorid ab. Verdünnte Mineralsäuren zerlegen das Chlorür in Chlorid und metallisches Wismuth. Dieselbe Zersetzung erfolgt bei starkem Erwärmen.

Zum Phosphor hat das Wismuth nur eine geringe Verwandtschaft; direct verbinden sich beide nicht. Sobald man aber Phosphorwasserstoffgas in eine Auflösung von salpetersaurem Wismuthoxyd leitet, schlägt sich Phosphor-Wismuth nieder.

Von den Legirungen des Wismuths mit anderen Metallen gewähren nur die mit Blei und Zinn wegen des geringen Schmelzpunktes Interesse. Vergleichen leichtflüssige Metallgemische, die von Newton, Lichtenberg, d'Arret und Rose aufgefunden sind existiren mehrere. Eine Mischung aus 1 Th. Blei, 1 Th. Zinn und 2 Th. Wismuth (Rose's leichtflüssiges Metall) schmilzt bei 93°, 75; eine andere aus 5 Th. Blei, 3 Th. Zinn und 8 Th. Wismuth bei 98°, also gleichfalls unter dem Siedepunkt des Wassers. Eine Mischung aus 5 Th. Wismuth, 2 Th. Zinn und 3 Th. Blei schmilzt sogar bei 92°. Diese benutzt man zu Abklatschen (Clichés) von Holzschnitten. Vermindert man den Wismuthgehalt, so steigt der Schmelzpunkt. Eine solche Legirung, deren Schmelzpunkt zwischen 100 und 200° liegt, hat man angewendet, um die Explosion der Dampfkessel zu verhindern, falls das Sicherheitsventil den Dienst versagt. Zu diesem Zwecke schraubt man ein kleines Rohr in den Dampfkessel und verschließt das Ende mit einer Platte aus dieser Legirung. Steigt die Temperatur der Dämpfe über den Schmelzpunkt der Legirung, so schmilzt die Platte und die Dämpfe können frei abziehen. Aber ganz verlassen kann man sich auf dieses Mittel nicht, da bei der fortdauernden Erwärmung sich der Schmelzpunkt der Legirung verändert. Es bildet sich eine Legirung von einem bedeutend geringeren Schmelzpunkt, die ausfließt; der Rückstand schmilzt aber bei einer viel höheren Temperatur, wodurch diese Vorichtsmaßregel ganz illusorisch wird.

Zu anderen technischen Zwecken wird das Wismuth wenig benutzt. Das Oxyd verhält sich gegen Kieselerde und Glas wie Bleioxyd, deshalb benutzt man es um Gold auf Porzellan und Farben auf Glas einzubrennen. Auch könnte das

*) Bericht d. Berl. Acad. 1853. S. 360.

Wismuth das Blei bei der Kupellation des Silberd erzeugen, da es sich gleichfalls in der Wärme an der Luft oxydirt und als geschmolzenes Oxyd von der Kavelle abforbirt wird. Für die Medizin sind die Wismuthpräparate von großer Wichtigkeit. Böttiger's Vorschlag, das basische salpetersaure Wismuthoxyd als untrügliches Reagens auf Traubenzucker zu verwenden *), war kaum ausgesprochen, als durch Griessow nachgewiesen wurde, daß das Reagens auch durch andere Substanzen als Traubenzucker geschwärzt wird **).

Das Wismuth kann in seinen Auflösungen leicht durch sein Verhalten gegen Wasser erkannt werden. Verdünnt man die Lösung mit sehr vielem Wasser, so entsteht ein weißer Niederschlag, besonders wenn man vorher etwas Chlornasserstoffsäure oder eine Lösung irgend eines Chlormetallcs hinzugesetzt hat. Vor dem Löthrohr erkennt man die Wismuthoxydialze und das Schwefelwismuth dadurch sehr leicht, daß sie, mit Soda gemengt, durch die innere Flamme zu Wismuth reducirt werden. Die Kohle beschlägt hierbei ähnlich als wenn das gleiche mit Bleioryd vorgenommen wird. Die Körner beider Metalle unterscheiden sich indessen sehr leicht; das Wismuth ist sehr spröde, die Kügelchen zerispringen unter dem Hammer, während die Bleikügelchen sich ausplatten lassen.

Die quantitative Bestimmung des Wismuths ist zwar nicht schwierig, aber in der Regel minder genau wie bei anderen Metallen. Man löst die fragliche Substanz in Salpetersäure auf, verdünnt mit Wasser und fällt mit Schwefelwasserstoff. Die Schwefelmetalle werden mit Schwefelammonium digerirt, wodurch das Schwefelarsen und Schwefelzinn in Lösung geht. Die zurückbleibenden Schwefelverbindungen von Blei, Kupfer, Silber und Wismuth werden in Salpetersäure gelöst; das Silber durch Chlor und das Blei durch Schwefelsäure entfernt. Die rückständige Lösung, welche noch Kupfer und Wismuth enthält, wird mit kohlensaurem Natron gefällt und aus dem Niederschlage das Kupferoxyd durch Cyankalium entfernt. Das zurückgebliebene kohlensaure Wismuthoxyd wird auf einem Filter gesammelt und durch Erhitzen in Oxyd verwandelt. Das Erhitzen darf jedoch nicht in einem Platintiegel vorgenommen werden, weil das Wismuthoxyd das Platin sehr leicht angreift. Auch darf das Filter nicht gleichzeitig mit dem Niederschlage erhitzt werden, denn sonst wirkt die Kohle reducirend.

Nach Barson ***) bietet das zweifache chromsaure Kali große Vortheile bei der quantitativen Bestimmung des Wismuth und Trennung desselben von Blei, Baryt und Cadmium. Aus der schwach sauren Lösung eines Wismuthialzes fällt stets chromsaures Wismuthoxyd mit folgender Formel: $\text{BiO}_3 \cdot \text{CrO}_3$, das nahezu unlöslich in verdünnter Salpeter-, Essigsäure, Wasser und Kali sein soll. Baryt und Blei, die gleichfalls durch das saure chromsaure Kali gefällt werden, muß man, wenn sie zugegen, zuvor durch Schwefelsäure entfernen. Die sonst schwierige Trennung des Wismuths vom Cadmium soll auf diese Weise sehr gut gelingen, da alles Cadmium in der Lösung bleibt. Das chromsaure Wismuthoxyd wird auf dem getrockneten Filter gewogen. 1,491 Grm. desselben entsprechen 1 Grm. Wismuth. — Auch durch Titriren kann man das Wismuth mittelst saurem chromsauren Kali bestimmen. Die im Original (Phil. Mag. Vol. IX. p. 204) als Be-

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXXI. S. 431.

**) Archiv d. Pharm. Bd. XCIV. S. 281.

***) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVIII. S. 255.

lege für die Genauigkeit der Methode angeführten Beispiele geben eine überraschend große Schärfe zu erkennen. W. B.

Wolfram (Tungsteinmetall, Scheelium), ein in der Natur selten vorkommendes Mineral. Chemisches Zeichen = W. Äquivalent = 1183,3 ($0 = 100$) oder 94,82 ($0 = 1$)*).

Das Wolfram ist nur in einer kleinen Zahl von Mineralien enthalten; hauptsächlich im Wolfram und in Tungstein oder Scheelspath. Da beide Mineralien treue Begleiter der Zinnerze sind, so wurden sie lange Zeit auch dafür gehalten oder als Eisenerze angesehen. Scheele zeigte zuerst 1781, daß in dem Tungstein (Schwerstein) die Kalkerde an eine eigenthümliche Säure gebunden sei, 1783 entdeckten die Gebrüder d'Elhujar, spanische Chemiker, daß dieselbe Säure auch in dem Wolfram enthalten sei; hier aber an Eisen und Mangan gebunden. Sie waren es auch, welche zuerst diese Säure zu Metall reducirten.

Die chemische Constitution des Wolframminerals hat zu zahlreichen Untersuchungen Veranlassung gegeben, ohne daß die Frage bis jetzt entschieden ist. Schon Berzelius erkannte das Wolframmineral als eine neutrale Verbindung von Wolframsäure mit den Drydulen von Eisen und Mangan. Schaffgotsch jedoch glaubte aus zahlreichen Analysen schließen zu müssen**), daß nicht Wolframsäure, sondern Wolframoryd neben den Dryden von Mangan und Eisen in diesem Mineral enthalten sei. Schneider widerlegte diese Annahme und erkannte die Angaben von Berzelius für richtig an***), während Lehmann wiederum darauf hinweist****), daß Schneider sich den Beweis zu leicht gedacht habe. Ebenso wenig ist Lehmann mit Schneider darüber einverstanden, daß der Magnesia- und Kalkgehalt in den Wolframien als zur Zusammensetzung des Minerals gehörig betrachtet werden müsse.

Die Fundorte des Wolfram (Scheelit) sind gerade nicht selten (Schlackenwalde, Zinnwalde im Erzgebirge, Harz, Cornwall, Limoges in Frankreich, Nordamerika). An denselben Orten und außerdem auch in Schweden findet sich der Tungstein (Scheelerz, wolframsaurer Kalk). Andere, nicht so häufig vorkommende Minerale sind: Wolframocker (Wolframsäure, Scheelsäure) — ein Zersetzungproduct — und Wolframbleierz (Scheelitin, Scheelbleierz, Scheelbleispath). Außerdem will Gertb neuerdings in Nord-Carolina ein wolframsaures Kupferoryd aufgefunden haben*****). Auch in manchen Tantaliten kommt Wolframsäure vor.

Das Metall erhält man durch Reduction der Wolframsäure mittelst Wasserstoffgas, oder aus der Chlorverbindung, durch Natrium, oder wenn man die Dämpfe von Wolframchlorid und trockenes Wasserstoffgas durch ein glühendes Glasrohr leitet. Gewöhnlich bildet das Wolframmetall ein eisengrünes Pulver, das durch den Strich einen metallischen Glanz annimmt oder kleine krystallinische

*) Nach neueren Untersuchungen von Schneider †) und Borsch ††) beläuft sich das Atomgewicht auf 1180,78 und 1148,88.

**) Pogg. Ann. Bd. I. II. S. 478.

***) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLIX. S. 321.

****) Ebend. Bd. LXI. S. 160.

*****) Ebend. Bd. LXIV. S. 466.

†) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLIX. S. 321.

††) Ebend. Bd. LIV. S. 234.

Körner, die das Glas rigen. Es schmilzt selbst im Schmiedefeuer nicht, doch bildet es dann zusammenhängende Massen. Bei der Reduction des Wolframschlorides durch Wasserstoffgas erhält man das Metall als dichten, glänzenden Spiegel, der theils fest auf dem Glase sitzt, theils rollenförmig abgelöst werden kann. Nach der Glasseite hin ist es glänzend und spiegelt mit dunkler Stahlfarbe, während es auf der anderen Seite heller matt eisenfarbig ist. Es ist spröde, sehr hart, läuft, an der Luft erhitzt, stahlblau an und verbrennt zu gelber Säure.

Desprez schmolz das Wolfram mittelst 600 Bunsen'schen Elementen, Riché mittelst einer Batterie von 200 Elementen *). Die Farbe des geschmolzenen Metalles ist weißgrau; es nimmt eine schöne Politur an. Der Bruch ist feinkörnig und dem eines gut gehärteten Stahles ähnlich. Es ist sehr hart, ritzt Quarz, die Edelsteine und selbst den natürlichen und künstlichen Rubin. Das Wolfram wird beim Schleifen nur durch Diamantpulver angegriffen. In Rücksicht auf die geringe Festigkeit dieses Metalles wäre es vielleicht möglich, durch Zusatz von Eisen oder Stahl ein Product zu erhalten, welches durch seine Härte für genaue Instrumente geeignet wäre.

Spec. Gew. = 16,54 bis 18,26. Das pulverförmige Metall wird nach Riché durch Salpetersäure bei 70 bis 80° im Verlauf von 3 bis 4 Tagen in Wolframsäure verwandelt; schneller durch Königswasser. Concentrirte Schwefelsäure oder Salzsäure verwandeln das Metall in blaues Dryd und erst nach einiger Zeit in Wolframsäure. Das Metall zerlegt das Wasser bei 100° C. nicht, wohl aber in der Rothglühhitze, wobei das Metall aufschwillt und sich schnell in Dryd verwandelt. Nach Wöhler **) wird das spiegelnde Metall von keiner Säure, auch nicht von Königswasser und ebenso wenig von concentrirter Kalilauge angegriffen. Dagegen wird es von einem Gemenge von Kalilauge und unterchlorigsaurem Natron leicht gelöst.

Mit dem Sauerstoff verbindet sich das Wolfram in zwei Verhältnissen: zu Wolframoryd (WO_2) und Wolframsäure (WO_3). Das erstere steht verschieden aus, je nach der Bereitungsweise. Reducirt man gepulverte Wolframsäure durch Wasserstoffgas, so ist das Dryd mattbraun, war aber die Säure krystallinisch, so ist das Dryd dunkel kupferroth. Am besten stellt man nach Wöhler das Wolframoryd auf folgende Weise dar. Man schmilzt Wolfram (das Mineral) mit kohlensaurem Kali zusammen und zieht das wolframsaure Kali mit heißem Wasser aus. Man setzt zu der Flüssigkeit $1\frac{1}{2}$ Th. Salmiak und dampft zur Trockne ab. Der Rückstand wird geglüht und besteht dann aus Wolframoryd und Chlorkalium. Letzteres wird durch Wasser entfernt. Das Wolframoryd digerirt mit einer Kalilösung, um die etwa vorhandene Wolframsäure zu entfernen. Das Wolframoryd enthält aber stets nicht unbedeutende Mengen von metallischem Wolfram.

Die Wolframsäure kann man durch Glühen auch in Dryd verwandeln, doch bildet sich hierbei stets etwas von dem blauen Dryd, einer Verbindung der Wolframsäure mit Wolframoryd. Ein reineres Dryd erhält man, wenn man über Wolframsäure bei nicht zu starker Hitze Wasserstoffgas leitet. Auch auf nassem Wege kann man das Dryd bereiten, indem man Wolframsäure mit Chlornasser-

*) Compt. rend. T. XLII. p. 203.

**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIV. S. 253.

stoffsäure übergießt und dann metallisches Zink hineinstellt. Das auf letztere Weise erhaltene Dryd ist jedoch wenig beständig und absorbirt sehr leicht Sauerstoff.

Das Wolframoryd ist schwarz oder mehr braun, oft krystallinisch und metallisch glänzend. Eine gelbliche Farbe deutet auf einen Gehalt an Wolframsäure. Mit Ausnahme von Königswasser wird das Dryd von Säuren nicht angegriffen; ebenso wenig durch Kochen mit einer Auflösung von Kalihydrat. Erhitzt man das Dryd bei Zutritt der Luft, so verbrennt es zu Wolframsäure.

Erhitzt man saures wolframsaures Natron bis zum Rothglühen, leitet dann Wasserstoffgas darüber und behandelt die Masse zuletzt mit Wasser, so geht neutrales wolframsaures Natron in Lösung und der krystallinische, gelbe, fast wie Gold glänzende Rückstand ist eine Verbindung von Wolframoryd mit Natron. Um sie zu reinigen wäscht man erst mit Salzsäure und dann Alkalilösung. Diese Verbindung ($\text{NaO}, 2\text{WO}_2$) krystallisirt in Würfel und wird durch keine Säure angegriffen. Nach Wright*) entsteht diese Verbindung auch, wenn man metallisches Zinn in einzelnen kleinen Stücken in geschmolzenes saures wolframsaures Natron legt. Die Bildung der Würfel an der Oberfläche des schmelzenden Zinnes beginnt sogleich; man sieht, wie sie wachsen und bald die ganze Masse erfüllen. Diese ganze Krystallisationserscheinung ist um so wunderbarer, als sie sehr rasch vor sich geht und die Substanz der Würfel selbst bei dieser Temperatur durchaus nicht schmelzbar ist, wie es denn auch wenige Körper geben mag, die, aus so kleinen Massen entstehend, so verhältnißmäßig große Krystalle bilden.

Wolframsäure kann auf verschiedene Arten erhalten werden. Man erhitzt das Dryd bei Zutritt der Luft, oder man zerlegt das wolframsaure Ammoniak durch Glühen oder man glüht die auf nassem Wege bereitete Schwefelverbindung oder man zerlegt ein wolframsaures Salz durch Säuren. Die letztere Methode ist die gewöhnlichere und als Ausgangspunkt dient das Wolframmineral. Man behandelt das letztere mit Königswasser, löst also das Eisen und Mangan auf, während die Wolframsäure ungelöst zurückbleibt. Diese sammelt man auf einem Filter, wäscht sie gut aus und löst sie in Ammoniak, wobei die Gangart und das nicht angegriffene Mineral ungelöst zurückbleiben. Das wolframsaure Ammoniak wird dann durch Erhitzen bei Zutritt der Luft zerlegt.

Die Wolframsäure hat eine hellgelbe Farbe, die beim Erhitzen dunkler wird. Oft fällt die Farbe mehr ins Grünliche. Diese Farbenveränderung tritt auch ein, wenn die Wolframsäure mit desoxydirenden Gasarten in Verührung kommt; beim Glühen unter Zutritt der Luft aber verschwindet die grüne Farbe wieder. Durch Wärme, Licht und organische Materien wird die Wolframsäure gleichfalls reducirt und zwar zu dem blauen Dryde, durch Kohle und Wasserstoffgas aber zu Metall. Die Wolframsäure ist unlöslich in Wasser und Säuren; nur wenn sie nicht geglüht worden, löst sie sich leicht in Lauge und Ammoniak. Sie ist durchaus feuerbeständig. Spec. Gew. = 6,12.

Die Wolframsäure dient als Malerfarbe. Für technische Zwecke giebt Christl folgende Bereitungsmethode an, die schon viel früher von Buchholz angewendet worden ist. Man schmilzt gleiche Theile des gepulverten Erzes (Wolfram) und calcinirter Soda in einem eisernen Tiegel zusammen und zieht die geschmolzene Masse mit heißem Wasser aus. Um aber die Säure schön gelb zu

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXIX. S. 244.

erhalten, fällt man das wolframsaure Natron durch Chlorcalcium und zerlegt den wolframsauren Kalk durch heiße Salpeter- oder Salzsäure. Die Wolframsäure hält hartnäckig einen Theil der Säuren, durch die sie gefällt worden ist, zurück, so daß diese durch Auswaschen nicht entfernt werden kann.

Die Wolframsäure bildet mit den Basen Salze. Von diesen sind die wolframsauren Alkalien löslich, die übrigen Salze aber unlöslich. Die neutralen Salze werden durch Säuren in saure Salze verwandelt; bei längerem Kochen scheidet sich reine Wolframsäure ab. Durch schweflige Säure werden die wolframsauren Salze nicht zerlegt. Schwefelwasserstoffgas und Schwefelammonium bewirken darin keine Niederschläge.

Die wolframsauren Alkalien erhält man sehr leicht durch Auflösen der Säure in Laugen oder Ammoniak oder durch Schmelzen des Wolframminerales mit kohlen-sauren Alkalien. Das Natron- und Ammoniaksalz krystallisirt sehr leicht. Die Formeln für diese Salze sind folgende: $\text{KO} \cdot \text{WO}^3 + 5 \text{HO}$; $\text{NaO} \cdot \text{WO}^3 + 2 \text{HO}$; $(\text{NW}^3 \text{HO}) \cdot \text{WO}^3$.

Margeurite hat jedoch wolframsaure Salze dargestellt, die der Einwirkung der Säuren widerstanden. Nach Laurent existiren verschiedene Hydrate der Wolframsäure; sie bilden mit den Basen Salze, die diesen Hydraten entsprechen. Glüht man diese verschiedenen Ammoniaksalze, so erhält man stets eine Säure, welche genau dieselbe procentische Zusammensetzung besitzt, aber dennoch kein anderes Salz bildet, als das, aus dem sie gewonnen wurde. Laurent glebt der Säure, die durch Einwirkung von Salpetersäure oder Königswasser aus dem Wolframmineral erhalten wird, die Formel $\text{WO}^3 \cdot \text{HO}$; außerdem hat er noch folgende Säuren: $\text{W}^2 \text{O}^6$, $\text{W}^3 \text{O}^9$, $\text{W}^4 \text{O}^{12}$, $\text{W}^5 \text{O}^{15}$, $\text{W}^6 \text{O}^{18}$. Das verschiedene Verhalten der wolframsauren Salze gegen Säuren erklärt Lampert dadurch, daß die gewöhnlichen wolframsauren Salze ($\text{MO} \cdot \text{WO}^3$) eine unlösliche, die Salze von der Formel $\text{MO} \cdot \text{W}^2 \text{O}^6$ und $\text{MO} \cdot \text{W}^3 \text{O}^9$ eine in Wasser lösliche Säure enthalten.

Laurent hat die wolframsauren Salze folgendermaßen classificirt *): 1) wolframsaure Salze $\text{WO}^3 \text{R}$; 2) isowolframsaure Salze $\text{W}^2 \text{O}^7 \text{R}$; 3) meta-wolframsaure Salze $\text{W}^2 \text{O}^{10} \text{R}$; 4) parawolframsaure Salze $\text{W}^4 \text{O}^{14} \text{R}^2$; 5) homowolframsaure Salze $\text{W}^5 \text{O}^{16} \text{R}$; 6) holhwolframsaure Salze $\text{W}^6 \text{O}^{21} \text{R}^3$.

Das erste Hydrat bildet z.-B. mit Ammoniak ein Salz, welches sehr schön krystallisirt. Dampft man die Lösung desselben aber ab, so wandelt es sich in ein parawolframsaures Salz um, das weniger löslich in Wasser ist.

Behandelt man die rohe aus dem Mineral gewonnene Säure mit dem 5 bis 6fachen Gewicht Salpeter und steigert dabei nach und nach die Temperatur, so gewinnt man nach Berse y **) dreierlei Salze, welche verschiedenen Zuständen der Säure entsprechen.

Manroß hat die in der Natur vorkommenden Wolframmineralien (Wolfram, Lungstein und Schellbleierz) künstlich und zwar krystallisirt dargestellt ***).

Unterwirft man die Wolframsäure einer theilweisen Reduction, so erhält man ein blaues Dryd, eine Verbindung der Wolframsäure mit dem Dryde

*) Vergl. hierzu: Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCI. S. 49.

**) Compt. rend. T. XXXIV. p. 135.

***) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXII. S. 348.

($WO^2 + WO^3$), die in der Färberei angewendet wird. Außerdem existiren noch andere Verbindungen, deren Farbe mehr grünlich ist.

Die nicht geglühte Wolframsäure löst sich leicht in Schwefelalkalien; durch Säuren kann man diese Verbindungen zerlegen. Es entsteht ein brauner Niederschlag (WS^3), der sich in der Hitze zerlegt, indem ein Theil des Schwefels fortgeht. Die Verbindung WS^2 ist schwarz; sie resultirt gleichfalls, wenn man 1 Th. Wolframsäure mit 5 oder 6 Th. Schwefelquecksilber destillirt. Wird Schwefelwolfram (WS^3) aus überschüssigem Cyankalium geschmolzen, so wird es nicht zu Metall reducirt, sondern es bildet sich WS^2 , welches durch erneutes Schmelzen mit Cyankalium nicht weiter verändert wird.

Das metallische Wolfram verbindet sich unter Feuererscheinung direct mit Chlor, zu Wolframchlorür (WCl^2), das kleine dunkelrothe Nadeln bildet. Es ist sehr leicht schmelzbar und flüchtig und wird durch Wasser, Kalihydrat und Ammoniak zerlegt. Wolframchlorid (WCl^3) bildet sich, wenn man Chlor über Schwefelwolfram oder ein Gemenge von Wolframoryd mit Kohle leitet. Im letzteren Falle bildet sich stets auch Chlorür und Reichlorid.

Erhitzt man pulverförmiges metallisches Wolfram in Phosphorgas bis zum Glühen, so entsteht W^3P^2 , ein dunkelgraues, sehr schwer oxydirbares Pulver. Viel merkwürdiger ist die Verbindung W^4P , die durch Reduction eines Gemenges von Wolfram und Phosphorsäure bei sehr hoher Temperatur im Kohlentiegel gebildet wird *). Sie krystallisirt in prachtvollen Drüsen. Es bildet sich eine, den Dimensionen des Kohlentiegels entsprechende, hohle Masse von grauem, zusammengefügten Phosphorwolfram, im Innern ausgekleidet mit den glänzendsten Krystallen, von denen viele, allerdings nur sehr dünne Prismen, eine Länge von fast 1 Zoll erreichen. Sie haben eine dunkle Stahlfarbe verbunden mit einem lebhaften Metallglanz und scheinen ganz die Form des Gypses zu besitzen. Spec. Gew. 5,207. Diese Verbindung ist in der Hitze unveränderlich und wird von keiner Säure angegriffen. Auf einer Kohle im Sauerstoffgase erhitzt oder auf schmelzendem chlorsaurem Kali verbrennt sie mit großem Glanz unter Bildung eines tief blauen Sublimats.

Ueber die Verbindungen des Wolfram mit den übrigen Elementen vergl. noch Journ. f. prakt. Chem. Bd. LIV. S. 254. Compt. rend. T. XLII. p. 203. Nachricht. d. Ges. d. Wissensch. z. Göttingen 1850. S. 25.

Das Wolfram wird sehr leicht erkannt durch das Verhalten seiner Verbindungen gegen das Löthrohr. In der inneren Flamme liefert die Wolframsäure mit Phosphorsalz ein rein blaues Glas. Enthält die Säure Eisen, so tritt eine blutrothe Färbung ein, die durch Zinn wieder in Blau verwandelt wird. Nur wenn der Eisengehalt zu bedeutend war, nimmt das Glas eine grüne Farbe an. Mit Kobalt kann das Wolfram nicht verwechselt werden, denn ersteres liefert auch in der äußeren Flamme ein blaues Glas, während Wolfram das Phosphorsalz entweder gar nicht oder bei einem bedeutenden Zusatz nur gelb färbt. Ebenso leicht ist die Wolframsäure von der Titan- und Niobsäure, neben denen sie in der Natur vorkommt, zu unterscheiden. Die Titansäure bildet mit den Alkalien unlösliche und die Wolframsäure lösliche Salze. Die Wolframsäure ist in Ammoniak löslich, die Niobsäure nicht. Die kleinste Menge der ersteren wird in der letzteren entdeckt

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXIX. S. 244.

bei der Verwandlung in Chloride; da das Wolframchlorid roth und Niobchlorid aber weiß ist.

Die Trennung des Wolfram von den übrigen Metallen ist sehr leicht. Sie beruht zum Theil auf der Unlöslichkeit der Wolframsäure in Wasser und Säuren und auf der Löslichkeit derselben in Ammoniak und Schwefelalkalien.

In neuester Zeit hat das Wolfram eine wichtige technische Verwendung bei der Stahlbereitung gefunden. Als Material benutzt man das Mineral Wolfram, welches zunächst durch Pochen und Waschen möglichst gereinigt wird, worauf man es, wenn Schwefel- oder Arsenikkies zugegen ist, röstet und dann nochmals wäscht und zuletzt mit verdünnter Salzsäure behandelt. So gereinigt wird das Mineral in einem mit Kohle ausgefütterten Tiegel 3 Stunden lang der anfangenden Weißglühitze ausgesetzt. Hierbei findet eine Reduction statt; man erhält eine graue poröse Masse, welche aus metallischem Wolfram mit Kohlenstoffeisen und Kohlenstoffmangan besteht. Diese Masse kann bei der Stahlbereitung verwendet werden. Man erhält auch eine Legirung von Wolfram mit Eisen, wenn man das gereinigte Wolframmineral beim Hohofenbetriebe oder in einen Cupolofen mit aufgießt. Man nimmt etwa 30 Proc. des Eisens an Wolframmineral; doch ist dies Verhältniß veränderlich, je nachdem der Stahl mehr oder weniger hart ausfallen soll. Das Wolfram ist mit dem Eisen so fest verbunden, daß es durch das nachherige Raffiniren oder Buddeln nicht durchaus entfernt wird. Die Verbindung von Gußeisen mit Wolfram wird in gewöhnlicher Weise raffinirt und dann in Cementstahl verwandelt. Die Krystallisation des raffinirten Wolframeisens kann durch anhaltendes Hämmern in der Kälte aufgehoben werden.

Der Stahl erhält durch das Zusammenschmelzen mit Wolfram eine vorzüglich gute Beschaffenheit. Die anzuwendende Menge des letzteren Metalles wechselt zwischen $\frac{1}{2}$ bis 25 Proc., je nach dem Grade der Härte und Dichtigkeit, welche man zu erlangen wünscht. Bei der Darstellung des Gußstahles muß man 10 bis 20 Minuten vor dem Ausgießen der Tiegel die Hitze des Ofens bis zum hellen Weißglühen verstärken. Die aus Wolframstahl angefertigten Werkzeuge sind ganz vorzüglich. Bohrer sollen selbst für glasharten Stahl verwendet werden können.

Man kann das Wolfram auch bei der Fabrication des Argentan benutzen; die Dehnbarkeit des letzteren wird nicht verringert, aber das specifische Gewicht dadurch vergrößert. Man schmilzt zunächst 2 Th. Wolfram und 3 Th. Nickel zusammen, welche Legirung gerade so verwendet wird, wie sonst das Nickel allein.

W. B.

Wolken sind nichts Anderes als Nebelmassen von mehr oder weniger Dichte, welche in verschiedenen Höhen der Atmosphäre sich befinden, ebenso wie man Nebel als auf der Erdoberfläche befindliche Wolken erklären kann. Alle Nebel, welche sich an feuchten Orten, in der Tiefe der Thäler, auf Bergen, um hohe Felsengipfel und dergleichen an der Oberfläche der Erde bilden, werden mithin Wolken, wenn sie, ohne sich zu zerstreuen, von den Winden fortgeführt werden. Insofern gilt über die Wolkenbildung das, was über die Bildung der Nebel im Artikel, Bd. V. S. 37 ff. gesagt worden ist. Die Wolken können jedoch auch noch einen anderen Ursprung haben, nämlich sie brauchen nicht von der Erdoberfläche fortgeführte Nebel zu sein, sondern können sich direct mitten in den Lüften bilden. Dies wird dann der Fall sein, wenn sich zwei feuchte Luftströme von ungleicher Tempe-

ratur begegnen, und der Wassergehalt für die entstandene mittlere Temperatur mehr beträgt, als das Maximum der Expansivkraft des Wasserdunstes gestattet (a. a. O. Bd. V. S. 38), oder wenn sich Dämpfe massenweise in Regionen erheben, welche zu kalt sind, um dieselben im luftförmigen Zustande zu erhalten.

Daß eine Wolke nichts Anderes als ein Nebel sei, dafür sprechen die Erfahrungen, welche beim Besteigen hoher Berge und durch Luftfahrten gemacht worden sind: beim Eintreten in eine Wolke fanden sich die Reisenden stets in Nebel gehüllt. Die Wolken bestehen demnach aus Dunstbläschen, über deren Beschaffenheit im Art. *Nebel* und im Art. *Dunst*, Bd. II. S. 563 das Erforderliche zu finden ist, wovon wir nur wiederholen, daß man es hier nicht mit soliden Wasserkugeln, sondern mit Bläschen, welche mit Dampf gefüllt sind, zu thun hat, deren Durchmesser *Frauenhofer* (Art. *Hof*, Bd. III. S. 865) in drei Fällen zu 0,00191, zu 0,00113 und zu 0,000578 Par. Zoll berechnete.

Das Schweben der Wolken hat man, da die constituirenden Dunstbläschen wegen des Flüssigkeithäutgens specifisch schwerer als die Luft sind, sich früher nicht recht erklären können und daher zum Theil zu den seltsamsten Hypothesen, bei denen namentlich die Elektrizität eine Hauptrolle spielte, seine Zuflucht genommen. *De Saussure* nahm eine wirkliche Auflösung des Wassers in Luft an, wovon natürlich nach *Dalton's* Untersuchungen über das Maximum der Expansivkraft der Dünste nicht mehr die Rede sein kann; *Gay-Lussac* meinte, die Ströme warmer Luft, welche sich unaufhörlich während des Tages von der Erde erheben, hätten einen großen Einfluß um sie zum Aufsteigen zu bringen und schwebend zu erhalten; *Fresnel* nahm an, daß die Sonnenwärme, welche in dem Schoße der Wolken absorbiert werde, die in dem Bläschen eingeschlossene Luft ausdehne und aus einem jeden eine Art *Montgolfiere* (s. Art. *Luftball*) mache, welche zu desto größeren Höhen steige, je stärker die Ausdehnung der eingeschlossenen Luft werde. Die Sache ist höchst einfach, wenn man nur bedenkt, daß die Wolke nicht etwas Fertiges, Bestehendes, daß sie kein Magazin ist, in welchem aller unten herabfallende Regen, Schnee und Hagel präparirt wird, sondern daß in der Wolke nur ein Proceß vorgeht, daß, wie *Dove* *) sagt, die Beständigkeit einer Wolke nur scheinbar ist, und sie nur besteht, indem sie entsteht und vergeht. Wer wird, sagt derselbe, die weiße Schaumstelle an einem Steine in einem hellen Gebirgsbache von der Höhe gesehen für etwas Festes, auf dem Boden Liegendes halten! Und ist die Wolke an der Spitze eines Berges etwas Anderes? Der Bach ist die Luft, der Stein der Berg, der Schaum die Wolke. Eine Wolke ist feiner Regen. Aber, fragt man, mag er auch noch so fein sein, warum fällt er nicht? — Aber wer sagt denn, daß die Wolken nicht fallen; sie lösen sich nur wieder auf, indem sie in die unteren erwärmteren Luftschichten herabsinken. Fällt der Regen tiefer, aber nicht bis zur Erde, so erhält die von der Seite gesehene Wolke jenes charakteristische streifige Ansehn, welches ein Vorbote nahen Regens ist. Eine Wolke ist demnach ein localer Regen in einer Luftschicht, an deren Grenze das Niedergeschlagene sich wieder auflöst. Kommt der Regen bis zur Erdoberfläche, so giebt die Wolke das Wenigste desselben her, sondern die herabfallenden Tröpfchen vergrößern sich während des Fallens durch Condensation der Wasserdünste in der Luftschicht, welche sie durchfallen; es

*) *Meteorologische Untersuchungen*, Berlin 1837. S. 48.

regnet nicht die Wolke allein, sondern die ganze Luftsäule bis zum Boden (Vergl. Artikel Regen). — Hiernach erklärt sich auch das Eintreten der sogenannten *Wolkenbrüche*, wenn nämlich eine massenhafte Condensation stattfindet, indem eine bedeutende Uebersättigung der Luft herbeigeführt wurde.

Ueber das Specielle der *Wolkenbildung* enthalten die Artikel: *Regen*, *Gewitter* und *Hagel* das erforderliche Material in erschöpfender Weise, ebenso das auf die geographische Verbreitung Bezügliche; es erübrigt im vorliegenden Artikel nur noch über die Gestaltung der Wolken, ihre Höhe u., kurz über die Wolke als ein isolirtes Phänomen das thatsächlich Ermittelte zusammenzustellen.

Zu den isolirten Wolken gehören diejenigen, welche oft stundenlang, ohne scheinbaren Wechsel die Gipfel hoher Berge bedecken, oder über einzelnen Inseln schweben. Der Brocken im Harz, der Rigi und Pilatusberg am Vierwaldstädter-See, der St. Gotthard sind durch dies Phänomen bekannt. Schon *Saussure* gab die richtige Erklärung, so daß es kaum der Bestätigung durch L. v. Buch bedurfte. Die durch den Wechsel der Tagessonne verschieden erwärmten Bergcolosse verdichten nämlich auf der kalten Seite die vorüberziehende Luft zu *Wolkennebel* und auf der wärmeren Seite verschwinden diese Niederschläge wieder ebenso schnell durch Verdunstung in der nicht gesättigten Luft. Der Pilatus, eigentlich *mons pileatus*, Hut- oder Haubenberg, hat von dem auf ihm so häufigen, bei südlichen und südwestlichen Winden eintretenden Phänomene seinen Namen erhalten, und nicht von Pontius Pilatus, dessen Seele der Volkswahn in den auf dem Gipfel befindlichen See bannte. Recht schön sieht man dasselbe Phänomen im Kleinen an den dahin brausenden Locomotiven, über denen fortwährend eine Dampfvolke schwebt, indem die eben entstandene und sofort verschwindende durch einen neuen Ausstoß verbrauchten Dampfes erneuert wird. Daß dergleichen *Wolkenanlagen* um die Gipfel der Berge als ein Vorzeichen von Regen gelten können, ist insofern begründet, als ihr Auftreten ein sicheres Anzeichen ist, daß ein feuchter Luftstrom über jene Höhen hinwegzieht, wodurch offenbar eine Uebersättigung herbeigeführt werden kann. *Voussingault* *) äußert sich in Bezug auf das *Schnee-Amphitheater*, welches auf allen Seiten den Horizont von *Niobambe* begrenzt, in folgender Weise. „Hier beginnt eine jener unermesslich breiten Wolken, welche *Saussure* so treffend mit dem Namen *Schmarogerwolken* bezeichnet hat, sich an den mittleren Theil eines Trachytegels anzuhängen; sie haftet fest daran: der Wind, so stark er bläst, vermag nichts über sie. Bald fährt mitten aus dieser Dampfmasse ein *Blik* heraus; Hagel, untermengt mit Regen, überschüttet den Fuß des Berges, während sein *Schneegipfel*, den das Gewitter nicht erreichen konnte, hell von der Sonne beleuchtet wird. Weiter hin steigt eine Spitze von strahlend glänzendem *Eise* empor; sie malt sich scharf auf dem *Azur* des Himmels ab: man unterscheidet alle ihre Umrisse, alle ihre Gestaltungen. Die Atmosphäre ist von merkwürdiger Reinheit, und dennoch bedeckt sich jener *Schneegipfel* mit einer Wolke. Sie scheint aus seinem Innern hervorzukommen, man könnte glauben Rauch aufsteigen zu sehen; ein wenig später und diese Wolke ist nichts mehr als ein leichter Dunst; bald ist sie ganz zergangen. Allein nicht lange darauf kommt sie wieder zum Vorschein, um abermals zu verschwinden. Diese intermittirende

*) Kleine Schriften von A. v. Humboldt, 1853. Bd. I. S. 176 und 177.

Wolkenbildung ist auf den Gipfeln der mit Schnee bedeckten Berge eine sehr häufige Erscheinung; vor allem beobachtet man sie bei heiterem Wetter, und immer einige Stunden nach der Culmination der Sonne. Unter diesen Umständen kann man die Gletscher mit Condensatoren vergleichen, welche in die hohen Regionen der Atmosphäre emporragen, um die Luft durch Abkühlung auszutrocknen und solchergestalt das Wasser, welches diese als Dampf enthielt, auf die Oberfläche der Erde zurückzuführen.“

In gleicher Weise erklärt sich einfach die Bildung des sogenannten *Tafel-tuches* auf dem Tafelberge am Vorgebirge der guten Hoffnung. Da die dortige Luft meist trocken ist, so ist der Berg gewöhnlich klar und heiter; tritt aber der mit Feuchtigkeit beladene, vom indischen Oceane kommende Südostwind ein, so bedeckt den Berg eine eigenthümliche dichte Wolke. Schneeweisse Dünste überziehen den Berg in gewaltigen Massen, in ihnen herrscht ein unruhiges Drängen und Treiben, ein Wogen in der Richtung des Windes; aber indem sie über den flachen Gipfel des Berges dahinstreichen, rollen sie nicht über denselben hinaus, um in der freien Luft weiter zu schweben, sondern stürzen an dem entgegengesetzten Abhange Wasserströmen gleichend in Streifen herab, ohne indessen die Tiefe zu erreichen. In halber Bergeshöhe verschwinden die Dünste sich auflösend in der unteren wärmeren, nicht gesättigten Luft; Woge auf Woge hat ein gleiches Schicksal und wie ein Tuch breitet sich die Wolke über den flachen Rücken des Berges. Das Phänomen hat, wie *Arnott* auseinandersetzt, darin seinen Grund, daß der mit Dünsten beladene Südostwind sich an den Wänden des Tafelberges stößt und gezwungen wird, empor zu steigen; so gelangt der Luftstrom in immer dünnere Luftschichten, je mehr er sich dem Gipfel nähert, dehnt sich immer mehr selbst aus, fühlt sich dadurch ab, und ist nun nicht mehr im Stande, die Wassermasse, welche er mit sich führt, in luftförmigem Zustande zu erhalten. So entwickelt sich ein Nebel auf dem Berge, d. h. eine Wolke. Ihr Verschwinden auf der entgegengesetzten Seite ist in dem Vorangehenden bereits begründet. Das Phänomen soll, wie leicht zu glauben, nicht allein stehen und auf den Inseln *Juan Hernandez* ebenfalls beobachtet sein.

Das Schweben einer Wolke über einer einzeln liegenden Insel, z. B. *St. Helena* erklärt sich aus dem über der Insel aufsteigenden Luftstrom, wenn die Insel durch die Einwirkung der Sonne wärmer geworden ist, als das umgebende Wasser. Die aufsteigenden Dünste erleiden oben eine Verdichtung, indem sich der Luftstrom immer mehr ausdehnt und die Temperatur oben auch an sich schon niedriger ist; hört der aufsteigende Strom auf, so verschwinden auch die herabsinkenden Dünste in den unteren wärmeren Luftregionen.

So bilden sich auch über Wäldern und Wiesen Wolken, während über der wärmeren Sandfläche dieselben sich wieder auflösen; man könnte fast sagen, daß die Bodenbeschaffenheit in den Wolkengebilden wiedergegeben werde. Das geübte Auge des Indianers soll ja auch in Gegenden, wo die Art des Colonisten noch keine Störung der natürlichen Verhältnisse herbeigeführt hat, den Lauf der Flüsse am Himmel ablesen.

Ofter beobachtet man mehrere Wolkenschichten über einander, wohl selbst in den verschiedenen Schichten nach verschiedenen Richtungen ziehend. Dies hängt mit den in verschiedenen Höhen ungleich gerichteten Luftströmungen zusammen. Tritt ein kalter Luftstrom von einiger verticalen Mächtigkeit in eine wärmere Luft-

masse, so kann an der unteren und oberen Grenze desselben ein Niederschlag eintreten, und eine doppelte Wolkenschicht muß sich bilden. Die untere Wolkenschicht wird sich dann als die minder erleuchtete, da die obere Schicht ihr Licht entzieht, durch eine dunklere Färbung auszeichnen. Ist der kalte Strom ein continuirlicher, so wird auch die Wolkenschicht ein zusammenhängendes Ganze bilden; bewegt sich der Strom nur stoßweis, so wird er einzelne Wolken zur Folge haben. Tritt ein viel Wasserdunst enthaltender warmer Luftstrom in eine kältere Lustregion, so wird in dem warmen Luftströme Wolkenbildung erfolgen. Verdrängt ein kalter Strom einen wärmeren, so wird die Wolkenbildung in der Nähe der Erdoberfläche vor sich gehen, da die kältere Luft die schwerere ist; stellt sich ein wärmerer Luftstrom ein, so werden die Wolken in der Höhe erscheinen. So markirt sich die Ankunft des warmen mit Wasser beladenen und daher Regen bringenden Süd- und Südwestwindes durch hochschwebende Wolken.

So mannichfach auch die Wolkengebilde sind, so kann man doch eine Uebereinstimmung gewisser Arten von Wolken erkennen. Es leuchtet ein, daß ein warmer in ruhiger Luft aufsteigender Strom, der sogenannte Courant ascendant, eine anders gestaltete Wolke erzeugen wird, als das Vermischen von Winden, und daß auch im letzteren Falle es einen Unterschied bedingen wird, ob der kalte Luftstrom in eine wärmere oder der warme Luftstrom in eine kältere Luftmasse einbringt; denn wir haben eben gesehen, daß die Wolkenbildung ein Mal in der Tiefe das andere Mal in der Höhe zu Stande kommt. Luke Howard *) hat zuerst eine bestimmte Terminologie für die Wolkenformen aufgestellt und damit im Allgemeinen Beifall gefunden, so daß dieselbe in alle meteorologische Werke übergegangen ist; nur Dove **) erklärt diese Terminologie für naturhistorisch zwar brauchbar, aber für durchaus unphysikalisch.

Howard unterscheidet drei wesentlich verschiedene Hauptformen der Wolken, den Cirrus, Cumulus und Stratus, denen sich noch 4 Unterarten, theils als Uebergänge, theils als aus mehreren anderen verbunden anschließen, nämlich Cirrocumulus, Cirrostratus, Cumulostratus und Nimbus.

Der Cirrus oder die Federwolke besteht, nach der Beschreibung von Rämß (a. a. O.), meistens aus zarten Fäden, welche bald als ein feiner weißlicher Federpinzel am blauen Himmel erscheinen, bald das Ansehen von gekräuselten Locken haben, bald sich neßförmig durchkreuzen. Von keiner Wolkenart ist das Ansehen so verschieden; zuweilen ändert der Cirrus in kurzer Zeit sein Ansehen, zu anderen Zeiten steht er stundenlang ruhig an derselben Stelle, ja es trifft sich wohl, daß mehrere zugleich an sehr verschiedenen Punkten des Himmels stehende Federwolken dasselbe Ansehen haben. Auf umstehend beigefügter Wolkenskarte werden die mit 1. bezeichneten Formen eine Vorstellung gewähren. Er ist ein Erzeugniß des leichteren, warmen, oben sich einfindenden Luftstromes, und stellt sich meist als Vorbote einer Aenderung nach anhaltender Dürre ein.

Der Cumulus oder die Haufenwolke zeigt sich in der einfachsten Form als Halbkugel über einer horizontalen Grundfläche, es häufen sich bald

*) Tilloch's philosoph. Magazin Nr. 62., vergl. Gilbert's Ann. Bd. XXI. S. 137, Bd. LI. S. 1. Rämß, Meteorologie. Th. I. S. 377. Goethe's sämtliche Werke, Stuttgart und Tübingen 1840. Bd. XI. S. 313; daselbst auch S. 341 ein Schreiben Luke Howard's über seine Lebensverhältnisse.

**) A. a. O. S. 58.



mehrere solcher einzelnen Halbfugeln zusammen und bilden die Wolken, welche am Horizonte stehend einem Gebirge mit glänzenden Gipfeln, theils hell beleuchtet, theils dunkel schattirt, gleichen. S. Nr. II. der Abbildungen. Cumulus ist durch die Wirkung des ungleich erhitzten Bodens auf die darauf ruhende Luftsäule entstanden und verlangt eine möglichst ruhige Atmosphäre. Die Wolken, welche die Locomotiven bei ruhigem Wetter ausstoßen sind, recht eigentlich Cumuli.

Der Stratus oder die Schichtwolke ist eine oben und unten horizontal begrenzte Nebelschicht, welche wir an heiteren Sommertagen über Wiesen und Gewässern liegen sehen, die sich beim Untergange der Sonne bildet und nach ihrem Aufgange wieder verschwindet. Es gehören also hierher die feinen Nebel bei der Thaubildung, so wie die niedrigen Nebelschichten über den Polarmeeren. S. Nr. III. der Abbildungen. Der Stratus ist häufig nur ein von fern gesehener bedeckter Himmel, der auch von einer Bergspitze ausgehen kann, an der er langgezogen zu verweilen scheint.

Unter Cirrocumulus, federige Hausenwolke, versteht Howard die zarten, runden, in Reihen geordneten Wolken, welche in Deutschland gewöhnlich Schäfchen oder Lämmchen heißen. Ihre äußere meistens abgerundete Form scheint sie den Hausenwolken zuzugesellen, aber ihrem inneren Baue nach und als hochstehende, leichte und glänzende Wolken sind sie den Federwolken nahe verwandt. S. Nr. IV. der Abbildungen.

Der Cirrostratus, federige Schichtwolke, besteht aus flachen Wolkenblättchen, auch wohl aus kurzen faserigen Theilen, die aber schon dichter aussehen, als die Federwolken; er bildet allemal eine horizontale Schicht, welche im Zenith aus einer Menge zarter Wolken zusammengesetzt erscheint, am Horizonte aber, wo wir den verticalen Querschnitt sehen, sich als eine lange dichte Wolke von sehr geringer Breite zeigt. Da die kleinen Wolken, aus denen sie besteht, oft in einem den ganzen Himmel bedeckenden Nebel stehen und zuweilen ganz in diese neblige Umgebung zerfließen scheinen, so bildet sie einen Uebergang zu einer Schichtwolke, welche als ausgebreiteter Nebel über uns steht. Sie kann aber auch den Uebergang zur Hausenwolke machen, wenn ihre leichten, faserigen und federigen Theile sich verdichten und das dickere, dunklere und dichtere Ansehen der Hausenwolke annehmen, die dann ganz in ihrer halbkugelförmigen Gestalt erscheint, aber doch offenbar aus zusammengeballten Stücken besteht. S. Nr. V. der Abbildungen. Der Cirrostratus ist wohl eigentlich der allmählig herabsteigende Cirrus, der zuletzt in allgemeine Trübung übergeht.

Wenn die Cumuli sich häufen, sich immer mehr und mehr über einander thürmen und ein dunkleres Ansehen erhalten, so geht die Wolkenart in den Cumulostratus, die gethürmte Hausenwolke, über; die Wolke steht dann nicht selten wie ein dunkles Gebirge über dem Horizonte und droht in die eigentliche Regen- oder Gewitterwolke überzugehen. S. Nr. VI. der Abbildungen. Der Cumulostratus ist der Gegensatz des Cirrus, nämlich eine Folge des zuerst unten stoßweise eintretenden kalten Stromes.

Die eigentliche Regenwolke, der Nimbus oder Cirrocumulostratus, entsteht meistens aus dem Cumulostratus. Sie zeigt sich als dunkle Wolkenmasse, mehr oder weniger horizontal ausgebreitet, mit einem faserigen Rande, so daß man nicht mehr im Stande ist, die einzelnen Theile, wie im

Cumulus, zu erkennen. S. Nr. VII. der Abbildungen. Dove meint, Nimbus müßte die nebelartige Trübung genannt werden, welche besonders im Spätherbste entsteht, wenn ein warmer Südwind schnell in höhere Breiten dringt und seinen Wasserdampf dadurch, daß seine Dampfcapacität fortwährend abnimmt, allmählig verliert. Ihm stände dann der Cumulus als bezeichnendes Phänomen eines Polarstromes gegenüber.

Wenn längere Zeit heitere Witterung geherrscht hat, und es tritt nachher der Cirrus auf, so ist dieses gewöhnlich ein Vorbote des bald nachher eintretenden Regens. Sind die Fäden der Wolke scharf begrenzt, so dauert nach Brandes das trockene Wetter wohl noch einige Tage fort; nahen Regen zeigt es an, wenn die Wolkensfäden verwaschen sind. Der Cirrus bewegt sich immer nach der Länge der Fasern und die sogenannten Windbäume (Federwolken, welche nach einer Seite spitz auslaufen, während sie an der anderen viele Aeste haben) haben ihren Namen erhalten, weil ihre Spitze größtentheils nach der Richtung zeigt, aus welcher der Wind kommt. Die niedergeschlagenen Dünste erstrecken sich viel weiter, als wo wir die Grenze der Federwolken erblicken, und bei großer Feuchtigkeit der Atmosphäre erhält durch sie der Cirrus die schon erwähnten verwaschenen Ränder. Dabei nimmt gewöhnlich der Himmel ein mehr oder weniger hellblaues Ansehen an. Dauert dieser Zustand längere Zeit fort, so geht der Cirrus in den Cirrocumulus oder häufiger in den Cirrostratus über. Das Entstehen des ersten gleicht einem Gerinnen, indem die kleinen, runden und glänzenden Wolken ganz das Ansehen haben wie Seifenwasser, welches unter hartes Wasser gegossen wird. Namentlich wenn sie des Morgens in dieser Gestalt auftreten, zeigen sie gewöhnlich heiteres und warmes Wetter an. Sie entstehen wahrscheinlich dadurch, daß sich ein warmer Luftstrom über die kältere Luft ergießt. Dieses wird dadurch bestätigt, daß gewöhnlich nachher ein warmer Südwind die Erdoberfläche erreicht. In diesen Wolken müssen die Dunsttheilchen in großem Abstände von einander stehen, denn Humboldt sah dieselben in Cumana oft so dünn, daß man noch Sterne vierter Größe und sogar die Mondflecken durch sie beobachten konnte. Die Sterne erschienen dabei von funkelndem Lichte und hieraus scheint zu folgen, daß in jenen Wolken Luftmassen von ungleicher Temperatur gemischt sind (s. d. Art. Fixsterne, Bd. III. S. 216). Wenn die Federwolke in den Cirrostratus übergeht, so werden die Fäden derselben immer verwaschener, das Blau des Himmels wird heller, aus den einzelnen Fäden kommen andere auf ihnen senkrecht stehende, der Cirrus wird immer breiter und der so gebildete Cirrostratus bedeckt entweder nur einen Theil des Himmels oder giebt dem ganzen Himmel ein weißes Ansehen. Dieser Uebergang zeigt gewöhnlich Regen an, indem sich meist in der Tiefe andere Wolkenarten, besonders Cumuli und Cumulostrati bilden. Der unter diesen Umständen fallende Regen ist gewöhnlich sanft, hält längere Zeit an und erstreckt sich oft über große Flächen. Die horizontale Fläche, welche der Cirrostratus sowohl von oben gesehen als von unten betrachtet darbietet, ist nur scheinbar, weil wir durch das weiße Licht geblendet einzelne Ungleichheiten nicht wahrzunehmen vermögen. Nur dann, wenn der Cirrostratus lockerer ist, wenn seine Ränder mehr aus gekräuselten als aus geraden Fasern bestehen und er dem Cirrocumulus näher kommt, scheint sein innerer Bau gleichförmiger zu sein. — Diese Wolkenart zeigt sich vorherrschend dann, wenn Südwestwinde in den oberen Regionen das Uebergewicht erhalten haben und nun bei sinkendem Barometer den Nordwind in der Tiefe

zurücktreiben. Dann ist der östliche Himmel noch heiter, während sich eine dichte Schicht von Cirrostraten in Gestalt einer Wolkenbank am westlichen Horizonte zeigt, für welche Götte den Namen *Varies* vorschlägt. An ihrem oberen Theile erscheint diese Wolkenmasse mehr oder weniger weiß, aber gegen den Horizont wird sie immer tiefergräublauer, nach und nach verbreitet sich diese Bildung über den ganzen Himmel; die untergehende Sonne erscheint mehr oder weniger blutroth durch diese Wolken. Dieses ist ein sicheres Vorzeichen von Regen, der noch während der Nacht oder am folgenden Tage kommt. Solche Wolkenstreifen, durch welche die untergehende Sonne sehr matt erscheint, deuten zwischen den Wendekreisen ebenfalls Regen und Unwetter an. — Zur Zeit von Regenwetter bedeckt diese Wolkenart oft große Stellen des Himmels, unter welcher die Regenwolken schnell fortziehen; zu anderen Zeiten erscheint sie in Gestalt langgebedneter schmaler Massen, welche besonders von der untergehenden Sonne sehr schön gefärbt erscheinen. So lange sie noch in Menge vorherrscht und Regenwolken darunter fortziehen, dürfen wir auf kein heiteres Wetter rechnen. Es geschieht nicht selten, daß diese Wolkenart in Gestalt eines schmalen Streifens von geringer Breite von einem Ende des Horizontes bis zum anderen reicht. Diese Streifen fallen häufig mit dem Meridiane zusammen, oder sie liegen im magnetischen Meridiane und sind dann Vorboten von Nordlichtern. Der Grund hiervon scheint darin zu liegen, daß der ankommende feuchte Südwind den Nordwind zurücktreibt, und daß sich hier an der Grenze ungleich warmer Winde Dämpfe niederschlagen. Solcher Wolkenstreifen sieht man oft mehrere, sie haben ganz das Ansehen von größten Kreisen, die von einem gemeinsamen Punkte auslaufen und sich über den Himmel verbreiten. Inbeß ist diese scheinbare Krümmung, sowie die Convergenz der Wolken nur ein optischer Betrug, die Wolkenstreifen sind mehr oder weniger parallel, wie dieses Kästner, Kries und Wrede gezeigt haben.

Der Cirrus geht unter allen Wolkengestalten am höchsten. Man kann annehmen, daß die mittlere Höhe der Federwolken 20000 Fuß betrage, welches eine Höhe ist, in der die Temperatur sich sicher unter 0 befindet*), und hieraus folgt dann mit großer Wahrscheinlichkeit, daß diese Wolken aus Eistheilen von großer Feinheit bestehen, worauf auch das blendend weiße Ansehen derselben hindeutet. Auch die Erscheinung der großen Höfen um Sonne und Mond deutet auf die Gegenwart feiner Eistheilen in der Atmosphäre (Vergl. d. Art. Hof, S. 128). Wenn man die Stellen dieser Wolken, welche ungefähr 22° von der Sonne abstehen, mittelst eines geschwärzten Glaspiegels betrachtet, so entdeckt man bei einiger Uebung bald in den meisten kleine Stücke von Höfen, die sich indeß freilich oft nur durch größere Lichtstärke zu erkennen geben, oft (vielleicht dann, wenn Luftströme die Theilchen lebhafter bewegen) bemerkt man keine Höfe; wenn man aber dieselbe Wolke längere Zeit in der angegebenen Weise beobachtet, so treten abwechselnd an verschiedenen Stellen Spuren von Höfen auf. Bei der Umwandlung des Cirrus in andere Wolkengestalten sinkt derselbe aus seiner Höhe herab und dabei verwandeln sich dann wahrscheinlich seine Eistheilchen mehr oder weniger in Dampfbüschchen. Der Cumulus besteht wahrscheinlich schon ganz aus Dampfbüschchen und zeigt in seiner reinen Gestalt meistens eine aus Kugelfragmenten zu-

*) Vergl. Art. Atmosphäre, Bd. I. S. 480 und Art. Isothermen, Bd. IV.

sammengesetzte Masse mit scharf begrenzten Rändern. Bei heiterem Wetter, wenn sich vielleicht kaum Spuren von Cirris und Cirrostratis zeigen, erscheint diese Wolkenart namentlich im Sommer oft in großer Menge, ohne daß wir bei dem fortdauernd dunkelblauem Ansehen des Himmels einen Niederschlag zu befürchten haben. Wenn sich nämlich der während der Nacht gebildete Stratus verloren hat, erscheint der Himmel völlig heiter, um etwa 9 Uhr zeigen sich an einzelnen Stellen kleine, kaum wahrnehmbare Wölkchen von lockerem Bau, welche sich nach und nach vergrößern und immer schärfer begrenzt werden. Zahl und Dichtigkeit dieser Wolken erreichen einige Zeit nach der größten Tageswärme ihr Maximum, darauf nimmt die Zahl der Wolken wieder ab, und um die Zeit des Sonnenunterganges ist der Himmel ganz heiter. Im Herbst kann man das Phänomen häufig noch auf eine überraschendere Art sehen; der Stratus, welcher dann meistens dichter ist, löst sich bald auf, und dabei steigen die Bläschen sichtlich schnell aufwärts und verschwinden in einiger Höhe. Der hierbei stattfindende Vorgang ist der bereits oben aus dem aufsteigenden warmen Luftstrom erläuterte, indem nach der größten Wärme des Tages dieser an Stärke abnimmt und die Wolken in die Tiefe sinken, wo sie in den wärmeren Regionen sich wieder auflösen. Tritt dies Auflösen der Wolken aber am Abende nicht auf, sondern bedecken sie noch einen großen Theil des Himmels, so kann man auf einen baldigen Niederschlag rechnen; denn in diesem Falle ist die ganze Atmosphäre größtentheils mit Dampf gesättigt, wodurch die Auflösung der Wolken verhindert wird. Es verwandelt sich in diesem Falle der Cumulus meistens in den Cumulostratus und dieser in den Nimbus. Besonders dann, wenn in den höheren Regionen nur wenige Cirri oder Cirrostrati sind, verwandelt sich der Cumulus unmittelbar in den Nimbus. Es ist dieses bei Regenschauern der Fall, wenn die Richtung der oberen und unteren Winde sehr verschieden ist und der obere Luftstrom sich mit Schnelligkeit bewegt. Hier steht man einen Cumulus oft sich langsam bewegen, in wenigen Minuten verliert er den scharfen Umriß, Fasern strecken sich nach allen Seiten aus, die Wolke bewegt sich mit größerer Schnelligkeit, es findet eine große Unruhe in ihr statt und es fällt Regen herab. Bei großer Störung im Gleichgewicht der Atmosphäre kann es wohl geschehen, daß es ohne vorhergehende Wolkenbildung regnet, oder in niedriger Temperatur schneit. In diesem Falle kann es sich ereignen, daß die herabfallenden Tropfen wieder verdunsten, ehe sie den Boden erreichen. — Die durch einen kalten Luftstrom bedingte Condensation zeigt sich weit lebhafter dann, wenn auf einen warmen Südwind schnell ein kalter Nordwind folgt, welcher zuerst in den oberen Schichten der Atmosphäre das Uebergewicht erhält. Schnell vergrößern sich die Cumuli, gehen in Cumulostrati über, und der ganze Himmel ist bald mit einer grauen Wolkenschicht bedeckt, aus welcher es lebhaft regnet; dabei steigt der Barometer, aber nach einigen Stunden erfolgt bei vorherrschendem Nordwinde heiteres Wetter. — Dieser Vorgang, so häufig sich derselbe auch zeigt, ist nicht der gewöhnliche bei anhaltendem Regen. Hier ist man meistens im Stande zwei Wolkenschichten zu erkennen. Nachdem sich die Cirri in dichtere Cirrostrati verwandelt haben, so wird die untere Luftmasse erkaltet, die Dämpfe schlagen sich als Cumuli nieder, und in kurzer Zeit verwandeln sich diese in Nimbi. Der Regen in diesem Falle zeigt sich meistens bei sinkendem Barometerstande und hält länger an, als der obige. Bewegen sich diese unteren Wolken mit großer Schnelligkeit und vielleicht nach einer anderen Richtung als die Cirrostrati, dann dauern

dieses Wetter noch längere Zeit fort. — Wenn der Boden schon durch vorhergehende Regen feucht war, so erfolgt diese Verwandlung der Wolken weit lebhafter. Herrscht dann in den unteren Regionen kein Wind, dann steigen bei heiterem Himmel die Dämpfe mit großer Schnelligkeit in Menge in die Höhe; Cirri, Cirrostrati und tieferer Cumuli nehmen in kurzer Zeit an Umfang zu, und zur Zeit der größten Tageswärme erfolgt ein heftiger Regenguß, welcher häufig in ein Gewitter ausartet. — In vielen Fällen zeigt sich namentlich im Sommer ein Vorgang, welcher von dem beschriebenen etwas abweicht. Die Sonne geht bei völlig bewölktem Himmel auf und dabei regnet es häufig. Um etwa 7 oder 8 Uhr hört der Regen auf, der Himmel ist mit einer einzigen Wolkenschicht bedeckt, welche sich durch graue Farbe auszeichnet, aber keine der erwähnten Modificationen rein zeigt. Die Farbe und Structur erinnert an den Cumulus oder Cumulostratus; die gleichförmige Ausbreitung an den Cirrostratus. Bald zeigen sich einzelne Lücken in dieser Schicht, sie verwandeln sich nach und nach in Cumuli oder Cumulostrati und zur Zeit der größten Tageswärme sieht man fast reine Cumuli. So wie aber die Wärme abnimmt, breiten sich die Wolken wieder aus, nach dem Untergange der Sonne ist der Himmel ganz bewölkt und in der Nacht regnet es wieder. Dieser Vorgang, welcher sich oft mehrere Tage auf diese Art wiederholt, scheint seinen Grund in verschiedenen über einander fortgehenden Luftströmen zu haben. So wie die Sonne am Morgen den obern Theil der Wolkenschicht erwärmt, werden die Bläschen aufgelöst, und indem sie vielleicht wärmere Luftschichten erreichen, werden sie nicht in hinreichender Menge condensirt, um Regen zu erzeugen. So wie die Wärme am Abend abnimmt, kann die Luft nicht alle Dämpfe behalten, es bilden sich Bläschen und bei geringerer Wärme in der Nacht fällt das Wasser in Gestalt von Tropfen herab.

Ueber die Höhe der Wolken ist bis jetzt nur wenig ermittelt worden. Es scheint eine Abhängigkeit vom Klima und den Gebirgsformationen stattzufinden; von den Polen nach dem Aequator zu dürfte sie zunehmen, ebenso von dem flachen Lande zum Hochlande hin. Ueber dem Meere ist die Höhe jedenfalls niedriger, als über dem Festlande. Je wärmer es ist, desto höher rückt die Wolkenbildung hinauf.

Die Höhe der Wolken zu bestimmen hat in der Ortsveränderung und Unbeständigkeit der Form der Wolken seine eigenthümlichen Schwierigkeiten. Wo man die Wolken an hohen Gegenständen, z. B. Bergen gelagert sieht, da ist allerdings die Höhe leichter bestimmbar, aber dies sind nur vereinzelte Fälle, während die zu bestimmende Wolke im Allgemeinen im Freien schwebt, wo es an jedem sonstigen Anhalte fehlt. Man hat verschiedene Methoden eingeschlagen, die Höhe einer Wolke zu bestimmen. Das scheinbar einfachste Verfahren ist das von Riccioli angegebene, welches Rümh *) in folgender Weise beschreibt. Zwei Beobachter, A und B, welche sich in einer bekannten Entfernung von einander befinden, messen in demselben Momente den Höhenwinkel einer Wolke, die mit ihnen in einem Verticalkreise liegt. Dadurch wird der Beobachter A in den Stand gesetzt, die Entfernung der Wolke von seinem Beobachtungspunkte und; da der Höhenwinkel bekannt ist, ihre verticale Höhe zu berechnen.

So einfach dieses Verfahren scheint, so wird es besonders dadurch beschwer-

*) N. a. D. Bd. I. S. 379.

lich, daß die beiden Beobachter bei einer größeren Distanz sich nur mit Mühe verständigen können. Da es bei dieser ganzen Arbeit darauf ankommt, einen zweiten Winkel in dem Dreiecke zu erhalten, so kann man dazu die Sonne mit großem Erfolge anwenden. Wenn eine Wolke sich in dem durch die Sonne gehenden Verticalkreise befindet, so beachte man die Stelle, wohin ihr Schatten fällt, und messe die Höhe der Sonne und der Wolke. Da alle Sonnenstrahlen unserer Voraussetzung zufolge mit dem Horizonte gleiche Winkel bilden, so sind in dem aufzulösenden Dreiecke die beiden Winkel gegeben, und wenn die Distanz des Beobachtungsortes von der Grenze des Schattens gemessen wird, auch eine Seite, und alle Stücke lassen sich daher bestimmen.

Mit diesem Verfahren nahe verwandt ist das von Lambert angewendete. Man beobachte den Punkt, wohin die Grenze des Schattens einer Wolke fällt, welche sich in dem durch die Sonne und den Beobachter gehenden Verticalkreise bewegt; zugleich wird der Höhenwinkel der Wolke gemessen. Nach einer bekannten Zeit werden beide Beobachtungen wiederholt und die Distanz der Punkte, wohin der Schatten fiel, gemessen. Da die Wolke sich der Hypothese zufolge horizontal bewegt, so haben wir in dem zu bestimmenden Dreiecke die eine Seite, nämlich den Weg der Wolke und die beiden anliegenden Winkel (Wechselwinkel der Höhenwinkel); das Problem ist also bestimmt. Da das Zeitintervall bekannt ist, so erhält man zugleich die Geschwindigkeit der Wolke.

Ein anderes Verfahren, die Höhe der Wolken aus ihrem Schatten zu finden, hat Wrede angegeben. Eine Wolke stehe in dem durch die Sonne gehenden Verticalkreise; man beachte die Punkte, wohin der Schatten fällt, und messe die Höhe der den Schatten werfenden Ränder der Wolke, so haben wir in dem durch die Wolke und den Beobachter gehenden Dreiecke die eine Seite (Durchmesser der Wolke aus dem des Schattens gefunden) und die beiden anliegenden Winkel (Wechselwinkel der Höhenwinkel), mithin sind alle Stücke bekannt.

Wenn man sich auf einem etwas erhöhten Standpunkte befindet, so lassen sich diese Methoden mehr oder weniger leicht anwenden. Ausgezeichnete Bäume, Steine und andere Objecte können zur Bestimmung der Punkte angewendet werden, wohin der Schatten fällt, und diese Distanzen können dann entweder durch geodätische Messungen oder hinreichend genau vermittelt einer Specialkarte der Gegend gefunden werden. Vorthellhaft ist es übrigens bei jeder Wolke, dieselbe Messung nach einiger Zeit zu wiederholen; man erfährt dadurch außer der Geschwindigkeit auch, ob die Wolke sich in einer horizontalen oder geneigten Ebene bewege. Ist letzteres der Fall, so muß man bei dem Lambert'schen Verfahren die einfache, deshalb nöthige Correction anbringen.

Daß alle diese Methoden auch dann anwendbar sind, wenn der Himmel fast ganz bewölkt ist und sich einzelne Wolkenlücken zeigen, versteht sich von selbst.

Die gedachten Methoden setzen voraus, daß der Schatten der Wolke scharf begrenzt sei, bei Cirris und den verwandten Wolkenarten ist der Umriss des Schattens so unbestimmt, daß man ihn aus der Ferne nicht zu erkennen vermag. Aus dem Grunde hat Rams das Verfahren Riccioli's so abgeändert, daß er ohne Gehülfe die Höhe der Wolken bestimmen konnte. Wenn eine solche Wolke längere Zeit hindurch dasselbe Ansehen behielt, so maß er am Standpunkte A ihre Höhe; nach einer bekannten Zeit t wurde dieselbe Operation wiederholt; die Höhe betrage im ersten Falle a, im zweiten $a \pm x$ Grad. Hierauf ging er nach dem

zweiten Standpunkte B, welchen er so wählte, daß er möglichst nahe in der Verticalebene lag, in welcher sich die Wolke bewegte. Hier wurde die Höhe aufs Neue gemessen und die Zeit beobachtet, welche zwischen dieser Messung und der zweiten am ersten Standpunkte verfloßen war. Diese Zeit sei $n t$. Um nun den Winkel zu erfahren, welchen man in A zur Zeit der Messung in B erhalten hätte, nahm er zuerst an, daß sich der Höhenwinkel in gleichen Zeiten um dieselbe GröÙe ändere; es beträgt die Aenderung während der Zeit $n t$ also $n x$ und der berechnete Winkel wird $a + x + n x = a + (n + 1) x$ Grade. So sind in dem Dreiecke also eine Seite (die Distanz zwischen A und B) und beide Winkel gegeben, und die Höhe wird leicht bestimmt. In vielen Fällen wird die erste Berechnung genügen; ändert sich aber der Winkel in kurzer Zeit sehr bedeutend, dann ist eine zweite Berechnung nöthig. Man stellt diese zuerst gefundene Höhe als Halbmesser, die Linie, in welcher sich die Wolke bewegt, als Tangente an, und berechnet die Aenderung der Tangente während der Zeit t vermittlest der bekannten Differenz des Höhenwinkel x ; die Länge der Tangente bei der ersten Messung in A sei b , bei der zweiten c , so ist $b + n(b - c)$ die Tangente des Höhenwinkels bei der Messung in B, und man erhält nun die Höhe genauer. Meistens aber genügt das erste Verfahren; denn wenn diese hoch schwebenden Wolken sich sehr schnell bewegen, so ändern sie ihr Ansehen meistens in kurzer Zeit, und das ganze Verfahren ist nicht anwendbar.

Jacob Bernoulli giebt ein Verfahren an, die Höhe der Wolken während der Dämmerung zu bestimmen. Ist die Sonne eben untergegangen, so werden alle einzelnen am Himmel stehenden Wolken noch von ihr beschienen und erscheinen mehr oder weniger geröthet; so wie sie tiefer sinkt, werden die am östlichen Horizonte stehenden Wolken nicht mehr beschienen, sie erscheinen mehr oder weniger dunkel, während die im Zenith und am westlichen Himmel stehenden noch erleuchtet werden. Der Moment, wo die Beleuchtung aufhört, läßt sich meistens scharf wahrnehmen und so die Tiefe der Sonne unter dem Horizonte berechnen; aus dem Azimuth und der Höhe der Wolke läßt sich dann ihre Distanz von der Erdoberfläche finden.

Bei Gewitterwolken ist häufig ein anderes Verfahren empfohlen worden. Man mißt den Höhenwinkel, unter welchem sich der Blitz zeigt, und beobachtet die Zahl der Secunden zwischen Blitz und Donner; nimmt man an, daß der Schall sich im Durchschnitte während der Secunde durch einen Raum von 1050 Fuß bewege, so erhält man die Entfernung des Blitzes vom Beobachtungsorte und aus dem beobachteten Zenithabstande die verticale Höhe.

Eine Methode, nach welcher ein einzelner Beobachter die Höhe einer Wolke zu messen im Stande ist, hat W a r t m a n n *) angegeben. Von einem erhöhten Standpunkte, z. B. einem Thurme oder Hügel, aus beobachte ein Beobachter das von einer Wasserfläche, z. B. einem Teiche, oder einem künstlichen Horizonte reflectirte Bild der zu bestimmenden Wolke; er bestimme mittelst eines Winkelinstrumentes den Winkel, welchen der von einer besonders kenntlichen Stelle der Wolke reflectirte Strahl mit der Lothrechten bildet und finde diesen $= a$, ebenso messe er den Winkel, welchen derselbe Strahl mit dem direct von derselben Stelle

*) Pogg. Ann. Bd. LVI. S. 633.

der Wolke ausgehenden bildet, und dieser sei b ; dann ist der Winkel, welchen der reflectirte Strahl mit seinem Einfallsstrahle bildet, gleich $2a$ und folglich würde man zu der Bestimmung des Dreiecks, welches von dem reflectirten, dem einfallenden und dem directen Strahle gebildet wird, alles Erforderliche haben, sofern die Länge des reflectirten Strahles bekannt wäre. Kennt man die Höhe des Standpunktes über dem Spiegel, so ist der reflectirte Strahl durch dieselbe und Winkel a bestimmt. Nennen wir den reflectirten Strahl R , so ergiebt sich die Länge des Einfallsstrahles

$$E = R \frac{\sin b}{\sin (180^\circ - 2a - b)},$$

also die verticale Höhe der Wolke

$$H = E \cdot \sin (90 - a).$$

Eine auf Schiffen anwendbare Methode hat *Urago* angegeben *). Bei derselben kommt es darauf an, eine durch den Verticalkreis der Sonne gehende Wolke zu wählen und dann die Höhe der Sonne, den Winkel zwischen der Wolke und ihrem Schatten und die Erhebung der Wolke über den Horizont zu messen. Die Messungen geschehen von oben auf dem Mast aus und die Höhe des Mastes giebt die bekannte Seite der zu bestimmenden Dreiecke.

Pouillet, der sich bereits früher mit der in Rede stehenden Aufgabe beschäftigt **) hat neuerdings ***) eine sinnreiche Anwendung von der Photographie auf die Bestimmung der Höhe der Wolken gemacht. Es dienen ihm dabei zwei ganz gleiche photographische Apparate, welche in 100 Meter Abstand von einander, die optische Axe vertical aufwärts gerichtet, aufgestellt werden, um in beiden im nämlichen Augenblick ein Bild des Wolkenhimmels zu nehmen. Wenn die Objective eine Brennweite von 60 Centimeter haben, so darf man annehmen, daß die Umrisse aller Gegenstände von mehr als 600 Metern Entfernung hinlänglich scharf auf der nämlichen Bildfläche sich darstellen. Gesezt, jeder Apparat umfasse ein konisches Feld von 28 Grad Winkel an der Spitze, so ist in diesem Kegel der Durchmesser jedes zur verticalen Axe rechtwinkligen Querschnittes halb so groß, als der Abstand von der Spitze des Kegels. Daraus läßt sich entnehmen, daß die verticalen Kegel der beiden Apparate in 200 Meter Höhe sich zu durchdringen beginnen und in größerer Höhe ein immer weiteres gemeinschaftliches Feld gewinnen. Vermöge der Aehnlichkeit der Dreiecke verhält sich die Höhe h irgend einer Horizontalschicht über dem Apparate zur Focaldistanz f des Objectivs, wie eine in jener Horizontalebene gelegene Dimension d zu ihrem photographischen Bilde p . Wählt man als diese Dimension die Länge der Standlinie, an deren Endpunkten die beiden Apparate aufgestellt werden (also wie oben, z. B. 100 Meter), so kann für jede, höher als 600 Meter gelegene Horizontalebene die Länge p des Bildes der in jener Ebene liegenden Dimension d leicht gefunden werden. In beiden Apparaten sind die Bildflächen so eingepaßt, daß die verlängerte optische Axe gerade die Mitte der Bildfläche trifft. In diesen Punkt

*) Compt. rend. T. XI. p. 323.

**) Pogg. Ann. Bd. LII. S. 51. Compt. rend. T. XI. p. 717.

***) Compt. rend. T. XL. p. 1157, *Instit.* 1855, p. 190. *Liebig und Kopp Jahresbericht für 1855.* S. 88.

fällt daher in jedem Apparate das Bild aller vertical über seinen Standort gelegenen Punkte. Nimmt man nun für eine bestimmte Wolke, welche sich unzweideutig im gemeinschaftlichen Felde beider Apparate abgebildet hat, die Coordinaten so, daß die Abseissen mit der Standlinie parallel laufen, so ist der Unterschied der Abseissen desselben Wolkenflecks auf beiden Bildern zugleich das Bild p der Standlinie, diese mit der Wolke in gleicher Horizontalebene gedacht. Man kann daher mit Benutzung des Ausdrucks

$$h = \frac{d \cdot f}{p}$$

die Höhe der Wolke finden, nachdem man p mit Sorgfalt ermittelt hat. Dies Verfahren ist freilich in seiner Einfachheit nur auf die Höhenbestimmung von Wolken in der Nähe des Zeniths anwendbar. Die Standlinie darf nicht zu klein sein; aber je größer sie wird, desto mehr reducirt sich das gemeinschaftliche Feld im Sinne der Standlinie. Pouillet schlägt deshalb für verschiedene Wolkenhöhen verschieden lange Standlinien vor und zwar 100, 300 und 600 Meter für respective 1000 bis 3000, 3000 bis 9000 und 9000 bis 15000 Meter Wolkenhöhe.

Niccololi bestimmte die Höhe einer weißglänzenden Wolke zu 2177 italienische Schritt; nach einer Mittheilung eines Jesuiten, welcher viele Messungen anstellte, soll die Höhe nie über 5000 Schritt betragen. Bouguer sah die Wolken auf den Cordillern mehrere hundert Toisen über sich, was auch Humboldt von Schäfschen beobachtete. Lambert bestimmte die Höhe wahrscheinlich von einem Cumulus in Berlin zu 7500 Fuß. Unhaltende Beobachtungen hat Crosthwaite zu Redwick in England angestellt; er benutzte die Höhe des 3150 Fuß hohen Berges Skiddaw, um die Höhe jener Wolken zu bestimmen, welche niedriger standen als die Spitze des Berges. Da wenigstens in Deutschland im Sommer die meisten Wolken eine bedeutende Höhe haben, so wird dieses Verfahren kein sonderliches Resultat geben. Unter 5381 Beobachtungen fand er 293 Wolken niedriger als 1200 Fuß (englisch), 1640 zwischen 1200 und 2400 Fuß, 1300 zwischen 2400 und 3150 Fuß und alle übrigen höher als 3150 Fuß. — Im Juli und August 1830 hat Ramsdell versucht, die Höhe einiger Wolken zu bestimmen. Es zeigte sich sehr bald, daß Wolken derselben Art zu derselben Zeit in Höhen schwebten, welche Differenzen von 1000 Fuß gaben. So fand er an einem Nachmittage die Höhe der Cumuli zwischen 7300 und 8500 F. Ebenso ist die Höhe derselben Wolkenart an verschiedenen Tagen sehr ungleich. So war die Höhe der Cumuli im Mittel mehrerer Messungen am 6. Juli 8050 Fuß, am 11. 4750 Fuß. Nehme ich, sagt Ramsdell, für die gedachte Zeit das Mittel meiner Messungen, so ergibt sich, daß die Cumuli zwischen 9 Uhr Morgens und 6 Uhr Abends sich in Höhen zwischen 3000 Fuß und 10000 Fuß bewegen, im Durchschnitt aber glaube ich nicht viel über 5000 Fuß annehmen zu dürfen. Je geringer die Zahl der am Himmel sichtbaren Cumuli ist, desto größer scheint ihre Höhe zu sein, doch fehlt es an einer hinreichenden Zahl von Messungen, um diesen Satz als allgemein auszugeben. Die Höhe der wenigen Cirri, welche Ramsdell beobachten konnte, schwankt zwischen 10000 und 24000 Fuß, vielleicht dürfte 20000 Fuß der in unseren Gegenden für den Sommer gültigen Größe bei heiterem Wetter am nächsten kommen. Nur zweimal ist es Ramsdell gelungen, die Höhe eines Cirrostratus zu messen. In dem einen Falle betrug diese 11000, in

einem zweiten an demselben Tage 10500, so daß man 11000 Fuß annähernd annehmen könnte. Die Höhe von Regenwolken und Cirrocumulis hat Rämz nicht bestimmt, da die Beobachtungen sehr unsicher waren; die Höhe von Gewitterwolken hat derselbe zwischen 1500 und 5000 Fuß variirend gefunden, jedoch ist das Resultat stets unsicher, da die Länge des Blitzes mehrere Grade beträgt und wir nicht wissen, von welchem Punkte wir den Donner hören.

Gay-Lussac erblickte bei seiner Luftfahrt, bei welcher er eine Höhe von 7016 Metern (23040 Fuß) erreichte, noch Federwolken über sich; auf der Reise um die Welt, welche das französische Schiff *Venus* machte, maß man als größte Wolkenhöhe im atlantischen Meere und in der Südsee 900 bis 1400 Meter *), d'Abbadie hingegen beobachtete in Aethiopien Gewitterwolken in einer Höhe von nur 212 Metern. Nach Arago ist, wie die Beobachtungen von de l'Isle ergeben in Paris die tiefste Stellung der Gewitterwolken 1400 Meter; nach Le Gentil befindet sich in der heißen Zone, nämlich auf Isle de France, zu Pondichery und Manilla, der Herd der Gewitter gewöhnlich in einer Höhe von 900 Meter; nach Lobolsky's Beobachtungen strich in einem Falle eine Gewitterwolke nicht höher als 214 Meter, in einem anderen nicht höher als 292 Meter, in sechs Fällen in einer Höhe von 400 bis 600 Metern, in drei Fällen zwischen 600 und 800 Metern und in fünf Fällen in über 800 Metern Höhe. Haidinger **), dem wir vorstehende Notizen entnommen haben, führt zwei Fälle an, in denen die Gewitterwolken auffallend niedrig zogen, nämlich bei einem Gewitter in Admont am 27. August 1827, welches während des Gottesdienstes in das Chor der Stiftskirche einschlug und zwei junge Geistliche tödtete, war die Wolke nicht dicker als 4 Rftr. oder 24 Fuß und nicht weiter vom Boden entfernt, als 14 Rftr. oder 84 Fuß, und bei einem Gewitter am 19. Juli 1826 zu Grätz, welches nur etwa 1 Stunde dauerte, aber 19 Mal einschlug und 5 Mal zündete, ließ sich die Höhe der oberen Oberfläche der Wolke über dem Boden zu etwa 320 Fuß und die untere Oberfläche der Wolke zu etwa 210 Fuß, also die Dicke der Wolkenschicht auf 110 Fuß schätzen.

Vorstehende Beispiele geben uns Messungen über die Dicke der Wolkenschicht. Howard und Beytler ***) geben als Resultat ihrer im Jahre 1826 in den Pyrenäen angestellten Beobachtungen als Höhe der unteren Wolkensfläche 450 bis 2500 Meter, und der oberen Fläche 900 bis 3000 Meter. Wie mächtig bisweilen die Wolken sind, dafür gewährt die Luftfahrt, welche Barral und Virio am 27. Juli 1850 in Paris unternahmen, ein recht schlagendes Beispiel. Der Himmel war ****) mit schweren Wolken bedeckt. Um 1 Uhr Nachmittags flogen sie empor; bald befanden sie sich mitten in den Wolken, und die Stadt Paris und mit ihr die ganze Erde war den Blicken der Reisenden entzogen. Sie schwebten in einem dicken Nebel, der sie von allen Seiten umgab; bei 16310 Fuß Höhe waren sie immer noch in denselben Nebel eingehüllt; nur matt entdeckten sie einige Sonnenstrahlen, welche durch denselben hinschimmerten; auf 20161 f.

*) Dove's Repertor. Bd. IV. S. 268.

**) Sitzungsbericht der kaiserl. Akad. der Wissensch. zu Wien. Bd. IX, Jahrg 1852, Heft 2.

***) De la Météorologie par Foissac, Paris 1854. T. II. p. 68.

****) Hartung's Skizzen aus der Natur, übersetzt von Martin, Leipzig 1854. S. 44—47.

Höhe wurde der Nebel weniger dick und sehr kleine, nadelförmige Eiskrystalle stellten sich ein, welche in Folge des Aufsteigens des Ballons mit einer gewissen Kraft niederzufallen schienen und auf dem Papiere, auf welchem die Luftschiffer ihre Bemerkungen niederschrieben, eine Art von Gefniser hören ließen; durch den Nebel hindurch zeigte sich ein weißes und schwaches Bild der Sonne und zu gleicher Zeit ein zweites derartiges Sonnenbild an derselben Seite unterhalb hin, eine Folge der Zurückprallung der Strahlen von den zum Theil aus Eiskrystallen bestehenden Wolken, über denen der Ballon trieb. Bis dahin hatte die Temperatur in folgender Weise abgenommen:

Höhe des Ballons.	Grade nach Celsius.	Höhe des Ballons.	Grade nach Celsius.
0 rheinl. Fuß	+ 18	11947 rheinl. Fuß	— 0,5
2411 " "	+ 16	16310 " "	— 7
3962 " "	+ 13	20161 " "	— 10,7
4726 " "	+ 9,18	20740 " "	— 35
6411 " "	+ 9	22345 " "	— 39,7.

Auf dem höchsten Punkte war das Quecksilber des Thermometers unter den tiefsten Grad des Instrumentes: — 37° C. gesunken; erst nach der Zurückkunft ergab sich aus der Angabe des Walferdin'schen Minimum-Thermometers, welches sie versiegelt mitgenommen hatten, daß die niedrigste Temperatur — 39,7 betragen hatte, eine Kälte, bei welcher das Quecksilber im Begriffe ist zu gefrieren. Selbst auf der größten Höhe, welche der Ballon erreichte, war der Himmel über demselben noch mit Wolken bedeckt, durch welche die Sonne nur schwach hindurch blickte. Beim Niedergehen des Ballons zeigten sich noch bis auf 14339' Höhe die bereits erwähnten Eiskrystalle; um 1½ Uhr erreichten die Luftschiffer glücklich den Erdboden in dem Weiler des Beur im Depart. der Seine und Marne, etwa 10 Meilen von Paris. Die Dicke der Wolkenschicht betrug in diesem Falle wenigstens 15925 rheinl. Fuß, wahrscheinlich noch mehr. Ueberdies wollen wir hier noch auf das Vorkommen von Nebel in einer Luft von — 7° C. hinweisen, woraus das interessante Resultat hervorgeht, daß sich die Wassertheilchen bis weit unter ihrem Gefrierpunkte abkühlen können, ohne zu gefrieren. Ebenso ist durch diese Luftfahrt der, durch die Abnahme der Temperatur mit der Höhe allerdings so gut wie unzweifelhaft feststehende, thatsächliche Beweis geliefert, daß die höchsten Wolken aus Eiskrystallen bestehen.

Bei einer anderen Luftfahrt, welche Welsch und Nicklin mit dem bekannten Luftschiffer Green von dem Observatorium zu Kew bei London aus unternahmen und eine Höhe von 19500 engl. Fuß erreicht wurde, fand sich die erste Wolkenschicht in einer Höhe von 2640', eine zweite in 13200 Fuß und über dem höchsten erreichten Punkte zeigte sich noch eine dritte. Auch sie fanden bei der größten Höhe Schnee und Eiskrystalle, letztere sternförmig von kaum einer halben Linie Durchmesser.

H. G.

Wurfbewegung. Wenn ein Körper oder zunächst ein schwerer materieller Punkt in Bezug auf die Horizontale unter dem Winkel α (Elevationswinkel) mit der Geschwindigkeit v geworfen wird, so wird nach der Entwicklung im Artikel

Bewegung (Bd. I. S. 820 ff.) durch die Gleichung $y = x \tan \alpha - \frac{g x^2}{v^2 \cos \alpha^2}$

die Beziehung zwischen den Coordinaten x, y irgend eines Punktes der Linie (Wurflinie, Trajectorie) ausgedrückt, welche der geworfene Punkt beschreibt.

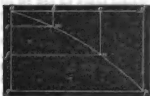
Für die Wurfbreite W ergab sich die Gleichung $W = \frac{v^2 \sin 2\alpha}{2g}$, wo g die

Beschleunigung der Schwere ist. Dies gilt für den leeren Raum, also ohne Rücksicht auf den Widerstand eines umgebenden Mediums. Für die Wurfbreite im luft erfüllten Raume soll nach G. Treviranus *) die Formel

$W = \frac{v^2}{2g} \sqrt[n]{\sin 2\alpha}$ den Beobachtungen entsprechen. Doch ist der Werth von n allemal erst aus den Beobachtungen abzuleiten. Treviranus ermittelte diesen Werth für zwei Beobachtungsreihen, und erhielt für die eine $n = 1,3$, für die andere $n = 1,571$.

Die Wurfkraft ist meist eine Stosskraft, die einem Körper in einer verhältnißmäßig sehr kurzen Zeit eine endliche Geschwindigkeit ertheilt. Mit dieser Geschwindigkeit würde sich der geworfene Körper in einer bestimmten Richtung geradlinig fortbewegen, wenn nicht die beständige Wirkung der Schwere denselben zum verticalen Herabfallen nöthigte und dadurch eine Abänderung der ursprünglich durch die Wurfkraft bestimmten Bahn veranlasste.

Hat der Körper durch einen Stoß eine Bewegung in horizontaler Richtung erhalten, so sollte er sich in dieser Richtung mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortbewegen. Könnte er nun in Folge der Wurfkraft allein in einer Secunde den Weg ab , in zwei Secunden den Weg $ac = 2ab$, in drei Secunden den



Weg $ad = 3ab$ (i. nebenstehende Figur) zurücklegen u. s. f., so würde er sich doch, wegen der Schwere, um derentwillen er sinken muß, am Ende der ersten, zweiten und dritten Secunde nicht in b, c, d , sondern in tiefer gelegenen Punkten befinden. Nun sinkt der Körper, nach dem Gesetze des freien Falles, in der ersten Secunde um $bm = ae$, nämlich um etwa 15 Par. Fuß, in zwei Secunden

um $en = 4.15$, in drei Secunden um $dp = 9.15$ u. s. f. Dabei wird sich der Körper unter gleichzeitiger Wirkung der Wurfkraft und Schwere am Ende der ersten Secunde vertical unter b in m , am Ende der zweiten Secunde vertical unter c in n , am Ende der dritten Secunde in p befinden, d. h. er wird die krumme Linie $amnp$ beschreiben. Es ist aber $em : en : ep = 1 : 2 : 3$, oder $em^2 : en^2 : ep^2 = 1 : 4 : 9$, und auch $ae : af : ag = 1 : 4 : 9$. Nämlich $em^2 : en^2 : ep^2 = ae : af : ag$. D. h. die Wurflinie ist eine Parabel, deren Axe ag ist.

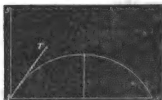
Wird der Körper in der Richtung AT (i. umstehende Fig. 1.), die mit der horizontalen Axe den Winkel α macht, geworfen, so muß er gleichfalls eine Parabel beschreiben. Es gelten dann die Bestimmungen im Art. Bewegung

(i. oben). Die Wurflinie ist eine Parabel mit dem Parameter $\frac{v^2 \cos \alpha^2}{g}$.

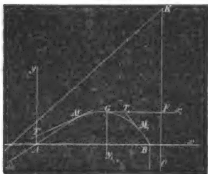
*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLIII. S. 1, 155.

Geflecht die Bewegung, wie gewöhnlich, im luftersfüllten Raume, so erhält die Wurflinie eine andere Gestalt; sie ist dann nicht mehr eine Parabel mit zwei

I.



II.



symmetrischen Zweigen, sondern der abwärts gekehrte Zweig ist kürzer und steiler als der aufwärts steigende Zweig, und die Bewegung des Körpers auf dem niedersteigenden Zweige nähert sich immer mehr einer gleichförmigen, verticalen Bewegung. Die Wurflinie nennt man in diesem Falle die ballistische-Curve (s. beistehende Fig. II.). Man kann die Bewegung eines geworfenen Körpers auf den Schwerpunkt desselben beziehen, an dem man sich die Kräfte angebracht denkt, die ihn treiben, so wie auch die Kräfte, die vom Widerstande der Luft herrühren und gegen seine Oberfläche wirken. Man betrachtet diesen Widerstand als eine Kraft, deren Wirkung nach der Tangente der Bahn gerichtet ist.

Der geworfene Körper habe nun am Ende der Zeit t den Bogen $AM = s$ beschrieben. Wirt an den Punkt M die Tangente MT gelegt, so sind die Cosinus der Winkel, welche diese Tangente mit der Axe der x und y macht,

resp. $\frac{dx}{ds}$ und $\frac{dy}{ds}$. Bezeichnet aber R den Widerstand der Luft, welcher der Bewegung entgegen nach der Richtung MT wirkt, so hat man für die beiden Componenten desselben, nach der Axe der x und y , $-R \frac{dx}{ds}$ und $R \frac{dy}{ds}$.

Die allgemeinen Gleichungen für die Bewegung des Schwerpunktes des Körpers sind nun $\frac{d^2x}{dt^2} = -R \frac{dx}{ds}$, $\frac{d^2y}{dt^2} = -g - R \frac{dy}{ds}$.

Den Widerstand der Luft betrachtet man als abhängig von ihrer Dichte, so wie von der Gestalt, Dichte und Geschwindigkeit des bewegten Körpers. Der Widerstand, welchen eine Flüssigkeit der gleichförmigen, geradlinigen Bewegung eines starren Körpers entgegensetzt, läßt sich Versuchen zufolge $= Av + Bv^2$ setzen, wo A und B Constanten sind und v die Geschwindigkeit bezeichnet. B ist der Dichte der Flüssigkeit und den Quadrat der Dimensionen des Körpers proportional. Das Glied Av trägt man auf die Zähigkeit der Flüssigkeit zu beziehen.

Ist der geworfene Körper eine Kugel vom Halbmesser r und von der Dichte d , so ist seine Masse $m = \frac{4}{3} \pi r^3 d$. Setzt man den Widerstand B , wie ge-

wöhnlich, dem Quadrate der Geschwindigkeit v des Körpers proportional, und bezeichnet durch n einen Factor der von der Dichte der Luft und des Körpers, so wie von der Gestalt des letzteren abhängig ist, so kann man wohl im Allgemeinen

$$R = n v^2, \text{ oder, da } v = \frac{ds}{dt} \text{ ist, } R = n \frac{ds^2}{dt}$$

Führt man diesen Werth von R in die obigen Gleichungen der Bewegung ein, so erhält man

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -n \frac{ds}{dt} \cdot \frac{dx}{dt}, \quad \frac{d^2 y}{dt^2} = -g - n \frac{ds}{dt} \cdot \frac{dy}{dt}.$$

Die erste Gleichung bleibt integrirt zunächst $\log \frac{dx}{dt} = -ns + C$, oder,

$$\frac{dx}{dt} = C e^{-ns}, \text{ wo } e \text{ die Basis der natürlichen Logarithmen.}$$

Nun ist aber am Punkte A (s. d. Figur) der Bogen $s = 0$, und man hat, wenn man die Anfangsgeschwindigkeit des Körpers mit a und den Elevationswinkel mit α bezeichnet, für die Seitengeschwindigkeit nach der Axe der x die Formel $a \cos \alpha = \frac{dx}{dt}$. Hieraus folgt für die Constante C der Werth $a \cos \alpha$,

und man hat daher für die obige Integralgleichung $\frac{dx}{dt} = a \cos \alpha e^{-ns}$.

Um die zweite Gleichung der Bewegung zu integriren, setze man $\frac{dy}{dt} = p \frac{dx}{dt}$, wo $p = \frac{dy}{dx}$ die Tangente des Winkels ist, den die Tangente MT mit der

Axe der x macht. Differentiirt man nun den Ausdruck $\frac{dy}{dt} = p \frac{dx}{dt}$, so hat

man $\frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{dp}{dt} \cdot \frac{dx}{dt} + p \frac{d^2 x}{dt^2}$, und dieser Werth in die zweite Gleichung

der Bewegung eingeführt giebt $\frac{dp}{dt} \cdot \frac{dx}{dt} + p \frac{d^2 x}{dt^2} = -g - n \frac{ds}{dt} \cdot \frac{dy}{dt}$.

Setzt man hierin noch $p = \frac{dy}{dx}$ und für $\frac{d^2 x}{dt^2}$ den Werth aus der ersten

Differentialgleichung der Bewegung, nämlich $-n \frac{ds}{dt} \cdot \frac{dx}{dt}$, so verwandelt

sie sich in $\frac{dp}{dt} \cdot \frac{dx}{dt} = -g$.

Dividirt man diese Gleichung durch das Quadrat der obigen Gleichung $\frac{dx}{dt}$

$= a \cos \alpha e^{-ns}$, so erhält man $\frac{dp}{dx} = -\frac{g e^{2ns}}{a^2 \cos^2 \alpha}$, oder, wenn man an-

nimmt, daß die Geschwindigkeit a zur Höhe h gehört, so daß $a = \sqrt{2gh}$ ist,

$$\frac{dp}{dx} = - \frac{e^{2ns}}{2h \cos^2 \alpha}. \quad (1)$$

Diese Gleichung charakterisirt nun die Wurflinie.

Es ist ferner das Differentialelement des Bogens $ds = \sqrt{dy^2 + dx^2} = dx \sqrt{1 + \frac{dy^2}{dx^2}} = dx \sqrt{1 + p^2}$. Dies berücksichtigt hat man auch aus Gleichung (1) $dp \sqrt{1 + p^2} = - \frac{e^{2ns} ds}{2h \cos^2 \alpha}$, und hieraus $p \sqrt{1 + p^2} + \log(p + \sqrt{1 + p^2}) = C - \frac{1}{2nh \cos^2 \alpha}$.

Zur Bestimmung des Werthes von C dient die Bemerkung, daß im Anfange der Bewegung $s = 0$ und $p = \tan \alpha$ ist. Hiernach ist $C = \tan \alpha \sqrt{1 + \tan^2 \alpha} + \log(\tan \alpha + \sqrt{1 + \tan^2 \alpha}) + \frac{1}{2nh \cos^2 \alpha}$.

Es kommt nun darauf an, die Coordinaten x, y zu bestimmen. Hierzu gelangt man, wenn man den Werth e^{2ns} eliminirt. Man erhält dann

$$dx = \frac{dp}{n(p \sqrt{1 + p^2} + \log(p + \sqrt{1 + p^2}) - C)}, \quad (2)$$

$$dy = \frac{p dp}{n(p \sqrt{1 + p^2} + \log(p + \sqrt{1 + p^2}) - C)}. \quad (3)$$

Der Werth von t ergibt sich aus der Gleichung $\frac{dp}{dt} \cdot \frac{dx}{dt} = -g$, woraus zunächst folgt $dt^2 = - \frac{dp \cdot dx}{g}$, und dann hieraus mit Berücksichtigung des Werthes von dx ,

$$dt = \frac{-dp}{\sqrt{ng}(p \sqrt{1 + p^2} + \log(p + \sqrt{1 + p^2}) - C)^{1/2}}. \quad (4)$$

Da $v^2 = \frac{dx^2 + dy^2}{dt^2} = (1 + p^2) \frac{dx^2}{dt^2} = g^2(1 + p^2) \frac{dt^2}{dp^2}$, so hat man auch zur Bestimmung der Geschwindigkeit v in irgend einem Punkte der Bahn

$$v^2 = \frac{g(1 + p^2)}{n[C - p \sqrt{1 + p^2} - \log(p + \sqrt{1 + p^2})]}. \quad (5)$$

Die Gleichungen (3) und (4) dienen zur Ortsbestimmung des geworfenen Körpers in irgend einem Augenblicke; allein sie lassen sich nicht in geschlossener Form integrieren. Doch läßt sich die Wurflinie durch einzelne Punkte construiren. Bezeichnet (F) eine gegebene Function von p , und zwar den Factor, womit in den obigen Gleichungen dp versehen ist, so erscheinen die Größen x, y, t unter der Form $\int (F) dp$. Im Punkte A (s. d. Fig.), wo man $p = \tan \alpha$ hat, verschwindet das Integral. Am höchsten Punkte G der Wurflinie ist die Tangente

parallel mit der Horizontalen, und hier hat man $p = \tan \alpha$. Die Integrale von dx und dy geben dann die Abscisse und Ordinate des höchsten Punktes. Die Punkte des niedersteigenden Zweiges der Wurflinie ergeben sich, wenn man dem Winkel, den die Tangente der Wurflinie mit der horizontalen Ase macht, negative Werthe giebt. Geht man dann fort bis zu einem Werthe dieses Winkels, für welchen die Ordinate y der Linie Null wird, so bestimmt der zugehörige Werth von x die Wurfweite AB .

Verlegt man den Anfangspunkt der Coordinaten in den höchsten Punkt G , und bezeichnet durch x', y', t' die diesem Punkte entsprechenden Werthe von x, y, t , so läßt sich setzen $x = t' + x_1, y = y' - y_1, t = t' + t_1$, wo x_1, y_1 die Abscisse und Ordinate irgend eines Punktes M_1 des niedersteigenden Zweiges, bezogen auf die Ase Gx_1 und Cy_1 , sind, und t_1 die Zeit, welche zur Beschreibung des Bogens GM_1 verwendet wird. Bezeichnet p_1 die Tangente des Winkels $M_1 T_1 x_1$, welchen die Berührende am Punkte M_1 mit Gx_1 macht, so ist $p_1 = \frac{dy_1}{dx_1} = -p$, ferner $\log(p + \sqrt{1+p^2}) = -\log(p_1 + \sqrt{1+p_1^2})$. Daher hat man für die Gleichungen (2) und (3) folgende:

$$dx_1 = \frac{dp}{n(p_1 + \sqrt{1+p_1^2} + \log(p_1 + \sqrt{1+p_1^2}) + C)},$$

$$dy_1 = \frac{p_1 dp}{n(p_1 \sqrt{1+p_1^2} + \log(p_1 + \sqrt{1+p_1^2}) + C)}.$$

Man kann nun, wenn man mittelst dieser Gleichungen den niedersteigenden Zweig der Curve construirt, der Veränderlichen p_1 beliebig große Werthe geben. Für sehr große Werthe von p_1 läßt sich aber p_1 anstatt $\sqrt{1+p_1^2}$ setzen, und sogar $\log(p_1 + \sqrt{1+p_1^2})$ vernachlässigen, da der Logarithmus einer sehr bedeutenden Größe sehr klein im Vergleich zur letzteren selbst ist. Man hat daher für die Gleichungen der Wurflinie $dx_1 = \frac{dp_1}{n p_1^2}$ und $dy_1 = \frac{dp_1}{n p_1}$; oder, wenn man integrirt und durch c, c_1 Constanten bezeichnet, $x_1 = c - \frac{1}{n p_1}, y_1 = c_1 + \frac{\log p_1}{n}$.

Während nur y_1 mit p_1 , indem die Kugel immer tiefer fällt, unbegrenzt wachsen kann, ist dies nicht so mit x_1 der Fall. Wird p_1 unendlich groß, so hat man $x_1 = c$ und nimmt man $GF = c$, so erscheint KC als eine verticale Asymptote des niedersteigenden Zweiges der Wurflinie.

Setzt man in die Gleichung (4) anstatt p die Größe $-p_1$, so ist für einen großen Werth von p_1 , $dt_1 = \frac{dp_1}{p_1 \sqrt{ng}}$, und hieraus folgt, mit Berücksichtigung der Gleichung $dy_1 = \frac{dp_1}{n p_1}, \frac{dy_1}{dt_1} = \sqrt{\frac{g}{n}}$ oder $y_1 = t_1 \sqrt{\frac{g}{n}} + C$. Man kann hieraus entnehmen, daß die schließliche, verticale Bewegung des geworfenen Körpers

eine gleichförmige ist. Die Geschwindigkeit dieser Bewegung wird aber diejenige sein, welche ein schwerer Körper im leeren Raume erlangen würde, wenn er von einer Höhe $= \frac{1}{2n}$ herabfiel. Dasselbe folgt auch aus der Gleichung (5), wenn man in dieselbe — p_1 anstatt p einführt, und den Werth von p_1 als sehr groß annimmt.

Vom Widerstande, den geworfene rotirende Kugeln durch die Luft erfahren, ist im Art. Mechanik der Flüssigkeiten (vergl. Bd. IV. S. 971 ff.) die Rede.

Es ist bekannt, daß bei einem Wurfkörper (Projectil) die Luft vor demselben verdichtet, hinter demselben aber verdünnt wird. Die Resultirende aus den Wirkungen der Luft auf den Vordertheil des Körpers besteht aus den Pressungen, die der Bewegung normal entgegen wirken, und aus Reibungen, die tangential auf die Oberfläche wirken. Ebenso besteht die Resultirende auf den hinteren Theil, nach der Richtung der Bewegung, aus Pressungen, die normal auf die Oberfläche wirken, und aus Reibungen, die tangential zur Oberfläche sind. Es bietet sich nun allerdings der Gedanke dar, daß eine zweckmäßige Abrundung und Schweifung des Hintertheiles einen fördernden Einfluß auf die Bewegung des Körpers üben könne. Nach einer Mittheilung von B. Wüschel *) hat Semper die Form der Körper zu bestimmen gesucht, welche sich mit dem geringsten Widerstande in widerstehenden Medien bewegen. Die Wirkungsfähigkeit eines Projectils ist bekanntlich, in Bezug auf die Quantität der Bewegung, um so größer, je mehr Masse dasselbe bei gleichem Widerstande hat, oder je geringer der Widerstand ist, den es bei gleicher Masse erfährt. Hiernach kommt es darauf an, die Form eines Körpers zu finden, dessen Masse oder (bei homogener Raumerfüllung) dessen Volumen im Vergleich mit dem Widerstande ein Maximum, oder dessen Widerstand im Vergleich mit dem Volumen ein Minimum ist. Semper betrachtet nun, um dieses Problem zu lösen, die vordere und hintere Hälfte des Projectils jede für sich und sucht für jede die zweckmäßigste Form zu bestimmen. Da die Dichte der Luft, welche das Vorder- und Hintertheil des Körpers umgiebt, ungleich ist, so müssen die Massen beider Theile in einem gewissen Verhältnisse zu einander stehen, das freilich mit der Geschwindigkeit veränderlich ist, aber doch für einen mittleren Werth derselben als constant angesehen werden kann. Dieser mittleren Geschwindigkeit ist die Form des Projectils anzupassen, für welches die Abstände des Schwerpunktes seiner beiden Theile von der auf der Bahnrichtung senkrechten großen Durchschnittsebene des Körpers einander gleich und die Masse sowohl als das Moment der Schwerkraft beider Theile einen gewissen constanten Werth haben sollen. Was die für die Bewegung hinderlichen Wirkungen betrifft, welche aus der zur Oberfläche tangentialen Reibung hervorgehen, so erscheinen dieselben um so unbedeutender, je mehr das relative Vacuum hinter dem schnell bewegten Körper durch den Schwanz desselben selbst ausgefüllt wird. Je mehr Oberfläche dieser Theil darbietet, desto mehr Gelegenheit findet die Luft, indem sie an den Hinterflächen des Körpers fortgleitet, eine Kraftäußerung im Sinne der Bewegung auszuüben, vorausgesetzt nämlich, daß die Flächenelemente des Hintertheiles so gerichtet sind, daß die normalen Pressungen Componenten im Sinne der Bewegung

*) Pogg. Ann. Bd. XCIII. S. 297.

ergeben. — Um die Bedingung zu erfüllen, daß die getroffenen Theile des umgebenden Mediums in parallelen Richtungen ausweichen und nicht in divergenten, wodurch eine Vermehrung des Widerstandes durch die Reaction der benachbarten, von diesen Strahlen getroffenen Theilchen, und auch eine Vergrößerung des relativen Vacuum hinter dem Körper veranlaßt werden soll, — untersuchte Semp^{er} solche Oberflächen, welche durch Bewegung einer Curve an einer Leitlinie entstanden gedacht werden können. In Bezug auf Projectile ergab sich für die erzeugende

$$\text{Curve die Gleichung } y' = \frac{dy}{dx} = \frac{\Omega [2(X-x) + (X-x)^2]}{\sqrt{4 - \Omega^2 [2X-x) + (X-x)^2]}}.$$

Es kam nämlich darauf an, für einen Schnitt des Körpers diejenige Form zu suchen, welche bei gegebenem Momente der Schwere, bei gegebenem Volumen und bei gegebenem Endwerthe für den verticalen Durchmesser (y) der größten Durchschnittsebene (xz) auf der einen Seite den größten, auf der anderen den kleinsten Werth für die Oberfläche gewährt. Setzt man die Constante $\Omega = 1$ und $X - x = x_1$, wo sich X auf die große Durchschnittsebene bezieht, so kann man die Winkel der Tangente mit der Abscissenaxe nach der Gleichung $2 + x_1$

$$= \frac{y' \sqrt{4 - (2x_1 + x_1^2)^2}}{x_1}$$

construiren. Die vordere Hälfte ihg des einen Theiles

der Curve, welche eine Art Schleifenlinie bildet und von Semp^{er} Ichthyoid genannt wird, besitzt mit der hinteren Hälfte ikh (s. beistehende Figur) ein gleiches Moment der Schwerkraft und gleiche Masse oder gleichen Flächeninhalt. Auch bildet der Umfang ikh der Curve ein Minimum und gki ein Maximum. Die



obige Gleichung der Curve stellt Semp^{er} als die charakteristische für alle Schwimkörper an, nach welcher jeder Fisch und Vogel seine äußere Gestalt erhalten zu haben scheint. Denkt man sich nun die Fläche der Ichthyoid als einen Verticalschnitt des Projectils, so bildet jeder den Linien lh , zp entsprechende Horizontalschnitt ein gleichschenkeliges Dreieck mit dem Winkel von 120° ; denn die Untersuchung ergab, daß, wenn das widerstehende

Mittel vom Körper in parallelen Strömungen ausweichen und die Bewegungsquantität ein Minimum sein soll, die Neigung der Linie der größten Declivität (Abdachung), nach welcher jede Parallelschicht des Mediums ausweichen soll, einem Winkel von 60° entspricht. Für einen senkrecht auf die Linie kh durch ilg geführten Querschnitt des Körpers ergiebt sich eine Form wie $abcd$ (s. beistehende Fig. II.); beträgt der bezeichnete Winkel beziehungsweise 45° , $34^\circ 16'$, so ergeben sich die minder abgeplatteten Formen $aecfa$, $agcha$. — Schließlich wird darauf hingewiesen, daß die Form dieser Wurfbkörper identisch sei mit derjenigen, welche man an den Schleudergeschossen der alten Griechen, an den sogenannten bleiernen Mandeln (*παλαιος*) bemerkt habe, und daß im Vergleich zu ihnen die Formen der preussischen Spitzkugeln ungewöhnlich erscheinen, insofern nämlich, als das Uebergewicht des Hintertheiles vom zugespitzten Cylinder, welchen die letzteren darstellen, ein baldiges Abweichen der Axe des Cylinders und des Kegels von der Bahnrichtung und dadurch eine Unsicherheit des Schusses herbeiführen dürfte,

während eine andere Unvollkommenheit der Spitzkugeln in der Unfähigkeit zu ricochettiren liege, indem sie entweder mit der Spitze sich in den getroffenen Gegenstand einbohrten, oder mit der glatten Cylinderwand aufschlugen. Dagegen erscheine die oben bezeichnete Form der Wurfgeschosse vortheilhaft in Rücksicht des Ricochettirens, indem beim Aufschlagen des Vordertheiles ein Rückschlag des Hintertheiles erfolge, wodurch dieses herunter und jenes herausgedrückt werde. — Für sogenannte Breßkugeln bieten jedoch, der Theorie nach, nur Umdrehungskörper die zweckmäßigste Form dar.

Uebrigens müssen wir hier noch bemerken, daß die Theorie des Widerstandes nach allen ihren physikalischen Momenten noch keineswegs genügend begründet ist. — Dirichlet leitete aus den allgemeinen Gleichungen der Hydrodynamik das Resultat ab, daß der Widerstand, den eine unbegrenzte incompressible Flüssigkeit der Bewegung einer Kugel entgegensetzt, der auf sie wirkenden Kraft proportional ist, dagegen weder von der Geschwindigkeit, noch von den Dimensionen der Kugel, sondern nur von dem Dichtigkeitsverhältniß des starren und flüssigen Stoffes abhängt. Mit Bezug hierauf hat R. H o p p e *) den Widerstand der Flüssigkeiten gegen die Bewegung starrer Körper untersucht.

Beiläufig erwähnen wir hier, daß Belikan **) einige Versuche über die Stärke des Luftdruckes angestellt hat, welchen fliegende Geschützflugeln auf dicht an ihrer Bahn gelegene Punkte ausüben. Derselbe fand diesen Druck nur sehr gering. Als nämlich ein Kolben, welcher in einem luftdicht schließenden Cylinder durch eine Kraft von 1,5 Pfund 1 Zoll weit bewegt werden konnte, so angebracht war, daß eine Geschützflugel dicht an seiner Querschnittsfläche vorüberfahren mußte, zeigte er durch seine Bewegung nur eine sehr geringe Krafteinwirkung an. —

Im Art. Strom, elektrischer (Bd. VI. S. 197 ff.) haben wir hervorgehoben, daß man eine Vorrichtung mit dem Namen Chronoskop dazu benutzen kann, um die Geschwindigkeit von Geschossen zu messen. Zur Ermittlung der Geschwindigkeit abgeschossener Kanonenflugeln gebraucht man gewöhnlich das sogenannte ballistische Pendel, worüber der Art. Pendel (Bd. V. S. 184 ff.) das Nähere enthält. Neuerdings hat nun Schönmann ***) gezeigt, wie man die Brückenwage zur Ermittlung der Geschwindigkeit abgeschossener oder auch frei fallender Körper in irgend einem Punkte ihrer Bahn benutzen könne. Man feuert das Geschosß von der Brücke selbst ab, und zwar in der Richtung des Bahnelementes, worin ein Punkt der Brücke bei beginnender Schwingung sich bewegt. Sind nun die Excursionen s der Gewichtsschneide den auf die Gewichtsschalen gelegten Uebergewichten p proportional, so kann man $p = A \cdot s$ setzen. Es bezeichne T die halbe Schwingungsdauer, n einen constanten Coefficienten der Brückenwage, der bei einer Decimalwage $\frac{1}{10}$, bei einer Centesimalwage $\frac{1}{100}$ beträgt, $s_2 - s_1$ den Excursionsunterschied der Schneide, welcher durch die Wirkung des Geschosses oder des fallenden Körpers hervorgebracht wird, ψ den Winkel, welchen das Bahnelement eines Punktes der Brücke mit der Verticalen einschließt, endlich g die Beschleunigung der Schwere und π die bekannte L u d o l f ' s c h e Zahl,

*) Vergl. P o g g. Ann. Bd. XCIII. S. 321.

**) Compt. rend. T. XLV. p. 802.

***) Monatsberichte der Akademie der Wissensch. in Berlin. 1857. S. 159.

so hat man für die Geschwindigkeit u eines Geschosses von dem Gewicht q die

$$\text{Formel } u = \frac{A T g . n}{q . \pi} \cos \psi \sqrt{s_2^2 - s_1^2}.$$

Diese Formel ist noch verschiedener, für die Anwendung bequemer Umformungen fähig. Der Winkel ψ ist meist so klein, daß man $\cos \psi = 1$ nehmen kann. — Handelt es sich um die Bestimmung der Geschwindigkeit eines fallenden Körpers, so ist dieser so zu formen, daß er sich am Ende seiner Bahn in ein auf der Brücke befindliches Brett einbohrt.

Yttrium ist das von Wöhler 1828 zuerst dargestellte Metall der Yttererde, das Gadolin, Professor der Chemie zu Åbo, 1794 bei Untersuchung eines in Feldspath zu Ytterby in Schweden gefundenen schwarzen Minerals, das später den Namen Gadolinit erhielt, entdeckte. Bei Zerlegung des Chloryttrium durch Kalium erhielt Wöhler das Metall in kleinen, eisengrauen, metallisch-glänzenden Schuppen. Das Wasser vermag das Yttrium nicht zu zerlegen; an der Luft bleibt das Metall bei gewöhnlicher Temperatur unverändert. Wird es jedoch erhitzt, so verbrennt es mit einer glänzenden Feuererscheinung zu Oxyd (YO). Durch verdünnte Säuren wird das Yttrium unter Wasserstoffentwicklung leicht aufgelöst. Da Mosander später nachwies *), daß die von Gadolin dargestellte Yttererde ein Gemenge von drei verschiedenen Oxyden (Ytter-, Terb- und Erbiererde) sei, so gilt dasselbe auch von dem durch Wöhler dargestellten Metall. Das reine Metall ist daher wenig bekannt.

Mit dem Sauerstoff bildet das Yttrium nur eine Verbindung: die Yttererde oder das Yttriumoxyd (YO). Sie findet sich zwar in verschiedenen Verbindungen, aber im Ganzen doch nur selten und zwar als Fluoryttrium im Ytrocercit, dann als phosphorsaure Yttererde ($3 \text{ YO}, 2 \text{ PO}_3$), mit Tantalssäure im Ferjusonit [$6 (\text{YO}, \text{CeO}), \text{Ta}^2 \text{O}_3$, gemengt mit $2 (\text{Zr}^2 \text{O}_3, \text{Fe}^2 \text{O}_3, \text{U}^2 \text{O}_3), \text{Ta}^2 \text{O}_3$ und GeO , EO , LaO], im Ytrotantalit, Gutenit, Aeschinit, Pyrochlor, Polymignit, Polyskras, Gadolinit, Orthit u.

Rein stellt man die Yttererde auf folgende Weise dar: man scheidet die Kieselsäure durch Salpetersäure ab und löst dann in Wasser auf. Die Lösung wird mit oxalsaurem Ammoniak gefällt. Der Niederschlag enthält neben den drei obengenannten Erden noch Cer- und Lanthanoryd, Manganorydul und Kalkerde. Der Niederschlag wird geglüht, in Salzsäure aufgelöst und dann die Lösung, nachdem das Cer- und Lanthanoryd durch schwefelsaures Kali abgeschieden worden sind, durch oxalsaures Kali gefällt. Der geglühte Niederschlag wird in Salpetersäure gelöst, zur Trockne verdampft, geglüht, der Rückstand mit Wasser ausgezogen und die Lösung durch Ammoniak gefällt. Der Niederschlag aus Ytter-, Terb- und Erbiererde bestehend, wird wiederum in Salpetersäure gelöst und dann so viel Ammoniak hinzugesetzt, daß etwa nur ein Zehntel der aufgelösten Erden niederschlägt. So lange der Niederschlag nach dem Glühen noch gefärbt erscheint, besteht er aus Terb- und Erbiererde; die letzten Niederschläge sind reine Yttererde.

*) Journ. für prakt. Chem. Bd. XXX. S. 289.

Nach dem Glühen ist die reine Yttererde milchweiß und leicht auflöslich in Säuren, wobei sie sich stark erhitzt. Da die Yttererde in Wasser unlöslich ist, besitzt sie auch keinen Geschmack; die Lösungen der Salze aber schmecken anfangs süß, dann zusammenziehend. Das Hydrat ist ebenfalls weiß, voluminös und zieht aus der Luft Kohlensäure an. Es zerlegt selbst auf nassem Wege die Ammoniaksalze. — Die Salze der Yttererde sind weiß. Das schwefel- und salpetersaure Salz krystallisiren; ersteres verwittert noch nicht bei 80° C. — Das Chloryttrium (YCl) zerfließt an der Luft und ist nicht flüchtig. Mit dem Schwefel verbindet sich das Yttrium beim Erhitzen unter Feuererscheinung. Das Schwefelyttrium zerlegt das Wasser nicht, mit Säuren übergossen entwickelt es leicht Schwefelwasserstoffgas. Auch mit dem Phosphor vereinigt sich das Yttrium beim Erhitzen unter Feuererscheinung. Wirft man das Phosphoryttrium in Wasser, so entwickelt sich selbst entzündliches Phosphorwasserstoff.

Die Yttererde unterscheidet sich von der Thon- und Beryllerde durch ihre Unlöslichkeit in Kalihydrat, und von der Thon- und Zirkonerde durch ihre leichte Löslichkeit in Säuren nach dem Glühen.

Von der Terbin- und Erbinerde trennt man die Yttererde durch Behandeln mit sehr verdünnter Schwefelsäure, welche die Yttererde leicht auflöst. Die beiden ersteren Oxyde löst man dann in Salpetersäure und sättigt die Auflösung mit schwefelsaurem Kali. Die Erbinerde fällt als wenig lösliches Doppelsalz nieder, während die Terbinerde gelöst bleibt. Durch Fällen mittelst Kalihydrat kann man dann leicht die Hydrate darstellen. Ganz genau kann man jedoch diese drei Erden nicht von einander unterscheiden; am wenigsten gelingt dies bei der Terbinerde (TrO), die stets Ytter- und Erbinerde enthält. Nach dem Glühen ist sie gelb, im reinen Zustande aber höchst wahrscheinlich weiß. Sie ist eine schwächere Base als die Yttererde und fällt daher bei der partiellen Fällung durch Ammoniak früher nieder. Die Salze haben einen Stich ins Amethystrothe; die löslichen besitzen einen süßen Geschmack. Sie scheitern an der Luft eher zu verwittern, als zu zerfließen. Beim schwefelsauren Salz tritt ersteres bereits bei 50° C. ein, indem es milchweiß wird.

Die Erbinerde (EO) ist dunkelgelb. Da sie bei der Behandlung mit Wasserstoffgas farblos wird, dann aber beim Glühen an der Luft die frühere Farbe wieder annimmt, so rührt diese wohl von einer höheren Oxydationsstufe her. Sie ist eine schwächere Base als die Ytter- und Terbinerde. Sie löst sich leicht in Säuren; die Auflösungen, wie die Salze sind farblos; nur einige zeigen einen Stich ins Rothe. Die Salze verwittern an der Luft nicht, wodurch sie sich von den Salzen der Terbinerde unterscheiden. Die Metalle dieser beiden Erden sind noch nicht dargestellt worden. W. B.

Zauberkunst, Magie, natürliche. Im fernsten Alterthume hatte das Wort „Magie“ einen guten Klang. Man bezeichnete damit das Bestreben zu einer tieferen Einsicht in die Natur zu gelangen. Magie war also gleichbedeutend mit Naturwissenschaft überhaupt. Zu jener Zeit aber war das Wissen Eigenthum von Wenigen, die zumeist einer bestimmten privilegierten Kaste, dem Priesterstande, angehörten und deshalb konnte die Wissenschaft nicht frei bleiben

von dem Einfluß des religiösen Elementes. „Die Magie umfaßt“, sagt Plinius (Hist. nat. T. XXX. p. 1) „alles das, was für den Körper von Wichtigkeit und geeignet ist, die Aufmerksamkeit des Geistes auf sich zu ziehen. Sie begreift in sich: die Medizin, die Religion und die Astronomie. Dies ist die heilige Dreieinheit der Kenntnisse der Magie, wie sie die Magier im Orient, wo diese Wissenschaft die Könige der Könige beherrscht, lehren.“ Bald aber wurde in den Magiern das Gelüst rege, sich durch die Kenntnisse von den Vorgängen in der Natur zu den Herren ihrer Nebenmenschen zu machen und nur zu leicht wurde es ihnen, indem sie mit den Gewaltigen des Staates Hand in Hand gingen, in der unwissenden Menge den Glauben an einen übernatürlichen Einfluß wach zu rufen und dieselbe zu einem gefügigen Werkzeuge in ihren Händen zu machen. Gleich den Magiern der Meder und Perser übten auch die Druiden bei den Galliern und in Britannien eine unbeschränkte Macht. Sie waren Priester, Aerzte, Gesetzgeber und Richter in einer Person. Wer ihnen widersprach, dem untersagten sie die Opfer und das war zu jener Zeit eine fürchterliche Strafe; der, den sie traf, stand außerhalb des Gesetzes, Jedermann floh bei seinem Annähern wie vor einem Pestkranken. Die Gesellschaft hatte den Geächteten ausgestoßen. Ein schwaches Bild jener Zeiten geben uns noch jetzt die Völker, welche auf der niedrigsten Kulturstufe stehen; hier ist noch heutiges Tages Priester und Zauberer gleich bedeutend. In Bezug auf diese beiden Seiten sprach man später von einer weißen (guten) und einer schwarzen (bösen) Magie.

Es hätte wahrlich dieser Gaukeleien und dieses Truges nicht bedurft, um den Aberglauben unter den Menschen wuchern zu lassen. Nur zu reichlich liegen die Reize dazu in dem Menschen selbst und in der Natur, die ihn umgibt und von der er abhängt. Welchen Täuschungen ist nicht das Auge, unter allen Organen, durch welche wir zur Kenntniß der Außenwelt gelangen, das merkwürdigste und wichtigste, ausgelegt; das Ohr ist gleichfalls eine sehr fruchtbare Quelle der Täuschung. Wenn auch diese Erscheinungen in Bezug auf den Glauben an einen übernatürlichen Einfluß nur von untergeordneter Wichtigkeit sind, so verdienen sie doch Beachtung, weil der Uebergang von ihnen zu den gespenstischen Täuschungen, welche die Einbildungskraft selbst den verständigsten Menschen bei besonderen Gesundheitszuständen vorgaukelt, keinesweges ein gezwungener, gewaltsamer ist*). An und für sich hat der Mensch zu allen Zeiten das Wunderbare geliebt. Ist doch seine ganze Existenz ihm ein Räthsel, dessen Deutung zu finden er sich vergebens abmüht. Nehmen wir dazu den Eindruck, welchen der Aufrubr der Elemente in der Natur auf den unwissenden Menschen macht, so ist die Entstehung des Glaubens an Dämonen, böse Geister, der durch Jahrhunderte hindurch schwerer als ein Alp auf der Menschheit gelastet hat, sehr leicht erklärlich.

Es konnte nicht ausbleiben, daß Unberufene zu mancherlei Kenntnissen von den natürlichen Dingen gelangten und gleichfalls in ihnen das Bestreben rege wurde, mit ihrem Pfunde zu wuchern. Das war aber in den Augen der Privilegirten Brevelthat; sie beanspruchten für sich allein das Recht im Finstern zu schleichen und den Zoll von der Dummheit der Menge zu erheben. Deshalb finden wir den Verkehr mit dämonischen Mächten und Zauberei in den Gesetzen der verschiedensten Völker und Zeiten, bis hinauf zu dem 2. Buch Moses (Cap. 22 V. 18)

*) S. Art. Sinne Bd. V. S. 939 ff.

und den 12 Tafeln der Römer, unter den Verbrechen aufgeführt und mitunter sogar die Todesstrafe darauf gesetzt.

Wir können es als ein Glück für die Menschheit ansehen, daß das Alterthum nur geringe naturwissenschaftliche Kenntnisse besaß, deren sie sich zum Betrug der Unwissenden und Leichtgläubigen bedienen konnte. Aber zu geringe dürfen wir diese Kenntnisse doch nicht anschlagen. Da sie eben nur im Besitz von Wenigen waren, so läßt sich leicht erklären, daß Vieles davon im Laufe der Zeit verloren gegangen ist, so daß es von den späteren Forschern wieder von Neuem entdeckt werden mußte. Sind auch unsere Kenntnisse über das Wissen des Alterthums nur höchst mangelhaft, so steht doch so viel fest, daß fast jeder Zeit die Naturwissenschaften ihren Beitrag zu den Wundern der Magie geliefert haben. In demselben Maße als wir die Fabeln und Wunder, welche uns aus jener Zeit berichtet werden, studiren, erweitert sich der Kreis der naturwissenschaftlichen Kenntnisse, die man damals inne hatte. Die Astronomie, die verhältnißmäßig sehr frühzeitig zu einer hohen Vollendung gekommen war, lieferte die Mittel in den Vorhersagungen von Sonnen- und Mondfinsternissen. Obgleich die Meteorologie erst eine Wissenschaft der neuesten Zeit ist, so verstand man es dennoch schon im fernsten Alterthume durch Veränderungen im Zustande der Atmosphäre das Eintreten gewisser Erscheinungen vorher zu sagen. Wahrscheinlich ist es auch, daß man Naturerscheinungen, wie z. B. die Luftspiegelungen, welche alle Kennzeichen übernatürlicher Erscheinungen besitzen und deren Benennungen noch heute auf den Schreck hindeuten, den sie einflößten, benutzte, um leichtgläubige Gemüther in Unruhe zu versetzen. Nach Humboldt ist das Phänomen der Luftspiegelung im Sanskrit mit dem Namen „Durst oder Verlangen der Antilope“ belegt. Es ist bekannt, daß in den heißen, unfruchtbaren Ebenen, in Folge einer ungleichen Strahlenbrechung in der Atmosphäre der Erdboden sich scheinbar mit einer bewegten Wasserfläche bedeckt, der dann das vom Durst getriebene Thier, das diese Erscheinung für Wirklichkeit hält, zustrückt (s. Art. Luftspiegelung). Die Chemie in Verbindung mit der Botanik oder der Naturgeschichte überhaupt lieferte in vielfachen Arzneimitteln die kräftigsten Hülfsmittel. Oben an aber steht die Physik, deren sämtliche Zweige man sich dienstbar zu machen wußte. Unter den Täuschungsmitteln, welche die Akustik lieferte, führt Brewster*) auf: die Nachahmung des Donners in den unterirdischen Tempeln, namentlich im Labyrinth, wo einige der Paläste so eingerichtet waren, daß beim Oeffnen der Thore der Hall des Donners aus dem Innern ertönte, die entzückenden Stimmen der goldenen Jungfrauen, die durch den delphischen Tempel ertönten, den Stein aus dem Flusse Baelolus, dessen Trompeten-Töne die Räuber von den durch ihn bewachten Schätzen zurücktrieben, den sprechenden Kopf, welcher seine Orakel zu Lebend erteilte. Ueber die akustischen Wunderwerke der Alten hat uns die Zerstümmerung der Statuen der heidnischen Gottheiten, die der Bischof Theophilus im 4. Jahrhundert zu Alexandrien anbefahl, Aufschluß gegeben. Es fanden sich hier mehrere, die hohl waren und so gegen die Wand standen, daß der Priester sich hinter ihnen verbergen und durch den Mund der Gottheit zu den leichtgläubigen Andächtigen sprechen konnte. Dadurch wird wohl die Annahme einiger,

*) Briefe über die natürliche Magie, übersetzt von Fr. Wolff, Berlin bei Th. Göschen 1833.

daß diese Wunder durch Zauchreden bewirkt worden wären, hinreichend widerlegt. Mitunter mag man allerdings dadurch wohl die Wirkungen der Wunder verstärkt haben. Die Gesetze der Hydrostatik bildeten die Grundlage für die wunderbare Quelle auf der Insel Andros, von welcher Plinius erzählt, daß sie sieben Tage Wein, den übrigen Theil des Jahres aber Wasser gab, — die Delquelle, welche, um die Rückkehr des Augustus vom sicilischen Kriege zu feiern, in Rom hervorbrach, — die drei leeren Urnen, welche sich in der Stadt Elis, bei dem Jahresfeste des Bacchus, mit Wein füllten; — das gläserne Grab des Pelus, welches voll Del war und das, einst von Kerkes geleert, nicht wieder ausgefüllt werden konnte, die weinenden Statuen und die ewigen Lampen der Alten. Für die Mechanik haben wir weniger directe Beweise; aber die kolossalen Bauwerke des Alterthums, namentlich die Obelisken und Pyramiden in Aegypten gehen auch hier deutliche Fingerzeige. Daher rechnet Brewster die Entführung der Opfer durch die Götter in einigen der schändlichen Mysterien des alten Rom, das Senken und Heben der Erde, gleich einem empörten Meer unter den Füßen des Apollonius, als dieser von den indischen Weisen in den Tempel ihres Gottes geführt worden war, die beweglichen Dreifüße, die derselbe hier sah, das rasche Niedersteigen derer, welche das Orakel in der Höhle des Trophonius befragten, die wandelnden Bildsäulen von Antium und in dem Tempel von Hierapolis, von denen Plato, Aristoteles und andere erzählen, daß man dieselben habe binden müssen, damit sie nicht davon liefen, und die hölzerne Taube des Archtes zu den mechanischen Hülfsmitteln der alten Magier. Die Wirkungen der Electricität waren gleichfalls nicht unbekannt; sichere Nachrichten aus dem Alterthum stehen uns hierüber aber nicht zu Gebote. Nach Einigen wird zwar die Stifthütte bei den Israeliten als ein elektrischer Apparat angesehen, und Manche läßt sich freilich nach dieser Hypothese erklären, aber dennoch werden von Andern Zweifel dagegen erhoben.

Die bedeutendsten Hülfsmittel entnahmen die Alten jedoch der Optik und diese dienten ihnen dazu die bewundernswürdigsten Erscheinungen zu Stande zu bringen. Daß die Alten das Teleskop und Mikroskop, mit deren Hülfe wir die entferntesten Gegenstände dem Beobachter so nahe führen, daß er sie fast mit Händen zu greifen wähnt oder die die unseren blöden Augen unsichtbare Körperwelt in gigantische Gestaltungen umwandeln, gekannt haben, wird allgemein bezweifelt. Ein Fund, der jüngst in den Ruinen von Ninive gemacht worden ist, läßt aber gegen diese Zweifel wiederum Zweifel aufkommen. Haben die Alten irgend eine Verbindung von Linsen und Spiegeln gekannt, die unsern heutigen Vergrößerungsinstrumenten ähnlich war, so können wir aus dem Erstaunen und der Verwunderung, mit denen noch heute Jeder erfüllt wird, der durch jene Instrumente einen Blick wirft, sei es auf den gestirnten Himmel oder die in einem Wassertropfen wimmelnde Welt von Ungeheuern, wenn schon er genau von den Wundern der Optik unterrichtet ist, die Erfolge ableiten, welche die Alten damit der unwissenden Menge gegenüber erzielten. Wie dem auch sein möge, so bietet die Optik außerdem noch vielerlei Mittel den Unwissenden durch seine Phantasie in Schrecken zu setzen und manche derselben waren den Alten nicht unbekannt. So waren ihnen die Eigenschaften der Linsen und Spiegel, aufrechte und verkehrte Bilder der Gegenstände zu bilden nicht fremd und gewiß nicht mit Unrecht folgert man daraus, daß sie sich derselben bedienten, um ihre Götterererscheinungen hervorzurufen.

Mehrere Schriftsteller des Alterthums melden ausdrücklich, daß man es verstanden habe Spiegel in mancherlei Form, ebene, vielseitige und hohle, aus Stahl, Silber und einer Legirung von Kupfer und Zinn anzufertigen. Ja Plinius macht es sogar wahrscheinlich, daß man zu Sidon auch Spiegel von Glas anfertigte. Die Mittel mancherlei Zauberbilder — vervielfältigte, umgekehrte — hervorzubringen, waren also vorhanden; die Alten verstanden aber auch diese zu combiniren und so neue Wunder zu schaffen. Dabei wurden noch mancherlei andere mithelfende Mittel (Beleuchtung, Räucherungen &c.) und Vorrichtungen in Anspruch genommen, um den Zuschauer in Erstaunen zu setzen, seine Beurtheilung zu verwirren und der besonderen Art von Betrug, die man beabsichtigte, einen vorwaltenden Einfluß zu verschaffen. Die Nachrichten, welche über diese Täuschungen bis auf uns gekommen sind, geben zwar die Verfahren an, wodurch sie bewirkt wurden, sie sind aber doch zu unvollständig, um durch sie einen vollständigen Begriff von den glänzenden und täuschenden Darstellungen, die entfaltet wurden, zu erhalten. Aus der hervorgebrachten Wirkung und aus dem Umfange ihres Einflusses, läßt sich jedoch auch auf die Größe der angewendeten Mittel schließen. Wir dürfen annehmen, daß die Alten mit allen Verwandlungen der neueren Phantasmagorie bekannt waren.

Auf eine Beschreibung dieser optischen Mittel gehen wir weiter nicht ein, da ihnen besondere Artikel gewidmet sind. Wir wollen nur anführen, daß der Hohlspiegel das Hauptwerkzeug war, mit dem die Götterercheinungen in den heidnischen Tempeln des Alterthums hervorgebracht wurden. Von diesen melden viele Schriftsteller. So berichtet Plinius, daß sich in dem alten Tempel des Hercules zu Tyrus ein geheiligter Stein befand, von welchem die Götter sich leicht erhoben. In dem Tempel von Tarsus zeigte sich Neptunus häufig seinen Verehrern. Auch der Tempel von Enguinum auf Sicilien stand in dem Ruf, daß hier die Götter öfters den Sterblichen erschienen, wie den Einwohnern von Alexandrien ihre Gottheiten Osiris und Amonis. Unter dem Kaiser Vespasian von Macedonien war besonders der Oberpriester Santabaren wegen seiner Kunst, Wunder zu wirken, berühmt. Zu diesem nahm jener seine Zuflucht, um den Jammer über den Tod seines Sohnes durch Gebete zu lindern und hierbei erschien dem Kaiser das Bild seines geliebten Sohnes, köstlich geschmückt auf einem stolzen Pferde reitend. Der Jüngling stürzte dem erfreuten Vater in die Arme und als dieser jenen mit Zärtlichkeiten überhäufen wollte, verschwand das Luftbild vor seinen Augen.

Das Christenthum konnte diesen Spuk nicht bannen; lange Zeit noch wurde die Magie, das Erbtheil des Heidenthums, sorgfältig gepflegt. Wenn auch die Fortschritte der Naturwissenschaften im Allgemeinen nur so spärlich waren, daß jedes Jahrhundert nur sehr wenige Blätter des großen Buches, mit welchem man die Natur verglichen hat, umschlug, so reichten sie doch aus den Zauberapparat der Magier reichlich zu vermehren. Die Astronomie artete in den späteren Jahrhunderten ganz zur Astrologie aus und im 16. und 17. Jahrhundert erreichte sie eine Macht, wie sie ihr kaum in der Zeit von Christi Geburt an bis zum Untergange Roms zu Theil geworden ist. Die Astrologen jener Zeit waren bei Großen und Reichen geschätzt wie kaum die chaldäischen Nativitätssteller, welche im stolzen Vertrauen auf ihre Kunst zum Verderben der Staaten, wie Tacitus berichtet, und einzelner Menschen die Welt durchzogen. Die Geschichte Wallenstein's,

- die Visionen des Nostradamus reichen aus uns den ganzen Geist dieses finsternen Zeitalters vor Augen zu führen. Selbst ein Mann wie Kepler blieb von dem Wahne seiner Zeit nicht unberührt. Von Nahrungsorgen gedrängt mußte er sich dazu verstehen kleine Kalender mit Prophezeihungen zu schreiben. In seiner Stellung als Hofastronom wurde er vom Kaiser und vielen anderen Fürsten bei jeder Gelegenheit bestrahlt, Fragen an die Zukunft zu richten; aber der großen Vorliebe Wallenstein's für astrologische Deutungen aus dem Laufe der Gestirne wußte er nicht genügend zu entsprechen und daher verlor er mit dessen Gunst auch seine Stelle, die er dem bekannten schlaueren Italiener abtreten mußte. In den astrologischen Schriften Kepler's vermessen wir jedoch diejenige Klarheit, durch die sich seine übrigen Werke in so hohem Maße auszeichnen. Jedoch nimmt er die Astrologie gegen die Schmähungen der Philosophen in Schutz und meint, daß nur sie die Astronomie ernähre. „Wie sehr geringe würde doch die Zahl der Gelehrten sein, welche sich der Astronomie widmeten, wenn der Mensch nicht stets gehofft hätte, die Zukunft in den Sternen zu lesen*)!“. Bei Gelegenheit der Vertheidigung seiner Mutter, die als Hexe in peinlicher Untersuchungshaft saß, giebt dieser Mann, dessen Wissen zwar weit hinaus über seine Zeit ragt, zwar zu, daß das wirkliche Vorhandensein der Zaubererei zwar nicht geleugnet werden könne, aber auch dies dürfen wir ihm nicht zu schwer anrechnen. Seine Ueberzeugung war es schwerlich; diese Worte sollten wohl nur dazu dienen, die Richter milder zu stimmen.

Die Chemie, von ihrem ersten Auftreten an, vorzugsweise mit zu den Wissenschaften der Wunder gehörend, fuhr fort ihr Contingent zu liefern. An der Stelle der alten Magier trieben Alchimisten ihr dunkles Wesen in den Laboratorien. Die geringen Kenntnisse, welche man damals über das chemische Verhalten der verschiedenen Körper zu einander besaß, machen es sehr leicht erklärlich, daß man aus richtigen Thatsachen falsche Folgerungen zog. Daß man aus den Blei- und Kupfer-Erzen wirklich Gold und Silber abschied, daß einige Körper, die den gebräuchlichsten Lösungsmitteln widerstanden, von anderen besiegt wurden, daß die von den arabischen Aerzten bereiteten Quecksilberpräparate in Krankheiten, die man für unheilbar hielt, Wunder verrichteten, gaben zu den abentheuerlichen Versuchen die unedlen Metalle in edle zu verwandeln, ein allgemeines Auflösungsmittel zu finden, das die letzten Bestandtheile der Edelfeine darlege und ihre Vereitung möglich mache, und ein Universalheilmittel herzustellen, das jede Krankheit, selbst den Tod von der Erde verbanne, Veranlassung. An und für sich waren diese Bestrebungen nur lobenswerth und wenn sie auch nicht gelingen konnten, so hat es an Bereicherungen für die Wissenschaft nicht gefehlt. Aber die ursprüngliche Reinheit und Einfachheit blieb ihnen nicht lange bewahrt; nur zu bald schlich sich auch hier der böse Dämon ein und die Wissenschaft wurde ein Werkzeug des Verbrechens. Selbst nachdem dieser Wahn verschwunden war, fuhr die Chemie fort dem Zauberer seine einträglichsten Kunststücke zu bieten und die, welche die Welt, wie Brewster sagt, nicht länger mit den Träumen von Reichthum und langem Leben täuschen konnten, versuchten sie jetzt zu verjüngen und in Erstaunen zu versetzen. Jetzt hauchte man Feuer aus, wandelte auf glühenden Kohlen oder rothglühendem Eisen, hielt Lepteres in den Händen oder zwischen den Zähnen,

*) Arago's sämtliche Werke. Bd. III. S. 168.

laute glühende Kohlen oder tauchte die Hände in geschmolzenes Blei. Man findet es sehr wahrscheinlich, daß die Mittel, durch welche diese Gaukler einzelne Theile des Körpers vor der Einwirkung des Feuers zu schützen wußten, im Mittelalter auch oft bei den Gottesurtheilen zur Anwendung kamen. Namentlich sagt man es den Priestern nach, wenn einer ihrer Genossen unter peinlicher Anklage stand.

Die Botanik scheint hauptsächlich nur der Zauberei wegen studirt worden zu sein. In den sogenannten Kräuterbüchern des Mittelalters werden die meisten Pflanzen nur angeführt, um ihren Gebrauch in der Zauberei oder ihren Nutzen gegen die Hexen nachzuweisen. Ebenso wenig war die Medicin frei von diesem Unwesen. Selbst die berühmtesten Aerzte nahmen häufig ihre Zuflucht zu Besprechungen oder anderen magischen Mitteln.

Die Physik behielt dieselbe Stelle wie im Alterthum. Eine große Menge physikalischer Schriften, die auf das Innigste vom Zauberglauben durchdrungen sind, ist noch aus den finsternen Zeiten des Mittelalters vorhanden. Eines der vorzüglichsten Werkzeuge war bei den Schwarzkünstlern des 17. Jahrhunderts die von Kircher erfundene Zauberlande, deren Wunder, durch die Verbesserungen, welche das optische Instrument im Laufe der Zeit erfahren hat, bedeutend verstärkt, noch heute den Zuschauer in großes Erstaunen setzt. Weiter beschäftigte die Kunst, Luftbilder darzustellen, die Optiker jener Zeit allgemein; ebenso spielten eine große Rolle die Verzerrungen, die man durch cylindrische und conische Spiegel bewerkstelligte.

Die traurige Geschichte des Mittelalters lehrt uns, daß auch zum Theil die Diener der christlichen Kirche ihr Unwesen mit der leichtgläubigen und unwissenden Menge ebenso arg trieben als die heidnischen Priester. Man scheute sich sogar nicht die Kirche selbst zum Schauplatz der höllischen Künste zu machen. Während der untergeordnete Priester sich auf diese Art durch seine Schlaueit in Ansehen vor seiner ihm anvertrauten Herde zu setzen und von dieser Geld zur Befriedigung seiner Gelüste zu erpressen wußte, erzitterten die mächtigsten Herrscher vor den Bischöfen und Päpsten, die übernatürliche Kräfte für sich in Anspruch nahmen. Und doch enthält das neue Testament durchaus Nichts, was dieses höllische Treiben irgendwie begünstigt hätte; nur die Sagen der Menschen trübten die reine und hohe Lehre. So wurde denn die Lehre vom Teufel, dessen Werke Christus doch zerstört und dadurch die Zauberei unmöglich gemacht hatte, eine reiche Quelle des Unheils für die Menschheit. Und gerade zur Zeit, wo die geistliche Macht ihren Höhenpunkt erreicht hatte, wurde ganz Europa der Lummelplatz der finsternen Unholde und Dämonen. Was in diesem Pfuhl der Sünde geboren wurde, konnte eben nur ein Scheusal sein und das war der Hexenglauben, ein untilgbarer Schandfleck für das Mittelalter, ein würdiges Seitenstück zur Inquisition, mit der er in nächster Beziehung stand. Wahrlich ein solches Herrbild der menschlichen Vernunft suchen wir vergebens im Alterthum und wären nicht die sichersten Beweise vorhanden, so würde sich noch heute die Vernunft sträuben, anzuerkennen, daß eine solche Verirrung des Geistes jemals existirt habe, obgleich die Nachwehen dieser gräßlichsten Plage, die jemals die Menschheit betroffen hat und die wie eine verheerende Seuche von Land zu Land zog, bis an unsere Tage heranreichten. Wir müssen jedoch an diesem tiefften Verfall der geistigen Cultur vorüberreilen, da die Grundlagen dieser schrecklichsten der Schrecken nicht auf Thatfachen, die

wie bei der übrigen Magie mit den Naturwissenschaften im Zusammenhange stehen, sondern nur auf krankhafter Einbildung beruhen.

Das Christenthum förderte auch noch einen besonderen sehr charakteristischen, Zweig der Magie, die sogenannte christliche oder theosophische zu Tage. Obgleich die ersten Keime derselben gewissermaßen mit dem Ursprunge des Christenthums zusammenfallen, so fand die Ausbildung doch nur erst zur Zeit der Hexenprocesse statt und erreichte im 17. Jahrhundert ihren Gipselpunkt. Kennt sich auch der Mensch „König der Schöpfung“, so muß er doch, wie sehr dies auch seinen Stolz beleidigt, gleichzeitig eingestehen, daß er in mancher Beziehung doch nur ein schwaches, jämmerliches Geschöpf ist. Neben seiner Ueberlegenheit macht sich auch die Abhängigkeit von der Natur und den darin waltenden Kräften geltend. Dies ist zu allen Zeiten die Quelle der Bemühungen der Sterblichen, eine Herrschaft über die Natur anzustreben, diese sich dienstbar zu machen; dies verleitet ihn, noch einen Schritt weiter zu gehen, seinen Einfluß auch auf die Geisterwelt auszudehnen, um so völlig Meister seines Schicksals zu werden. Die Tortur und der Scheiterhaufen schreckten die frommen, christlichen Seelen zurück von einer Verbindung mit dem Fürsten der Hölle; aber nichts desto weniger konnten sie die Gelüste ihres Herzens nach einer unumschränkten Herrschaft über die Natur und das Schicksal, ja selbst über die gesammte böse Geisterwelt, nicht bezähmen. Was war daher natürlicher, als daß die Frommen, die sich nicht gern dem Teufel ergeben wollten, einen anderen Weg suchten, der nicht zum Scheiterhaufen führte. Dieserhalb schuf sich die theosophische Magie eine neue christlich-himmliche Hierarchie, mit deren Großwürdenträgern sich die frommen aber dennoch sehr abergläubischen Magier durch Gebete und Sprüche, durch Besprechungen und Beschwörungen, die auch schon in der älteren Magie eine Rolle spielten, also allein durch die Kraft des Wortes, in magischen Rapport setzten. Unter diesen Schwärmern, die aber nicht immer ganz frei blieben von Unaufrichtigkeit, Charletanerie und von der Sucht zu glänzen, ist der merkwürdigste **S w e d e n b o r g**. Es läßt sich sehr schwer bestimmen, wodurch eigentlich bei diesem ausgezeichneten Manne, der sich anfangs den praktischen Wissenschaften mit großem Eifer und Erfolg gewidmet hatte, so daß er einen hohen Rang unter den Gelehrten seiner Zeit einnahm und dessen Medelichkeit ebenso groß war wie sein Wissen, die sonderbare Wendung seines Geistes, die ihn von allen weltlichen Geschäften entfernte und ganz in theosophische Betrachtungen versinken ließ, verursacht worden ist. Es ist leicht möglich, daß diese Schwärmerel ein Erbtheil von seinem Vater, einem Bischöfe war.

Endlich in der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts bemühte sich die Vernunft angelegentlich in den Köpfen der Menschen wieder zur Geltung zu kommen. Die mehr und mehr steigende Aufklärung, die angestrebten Bemühungen der größten Gelehrten, den Menschen wieder zum Selbstdenken anzutreiben, mußten Früchte tragen. Als sich daher die Magie so von allen Seiten in die Enge getrieben sah, raffte sie gegen den Ausgang des vorigen Jahrhunderts noch einmal alle Kraft zusammen und ebenso wie die Flamme vor ihrem Erlöschen noch einmal hell auflodert oder der Mensch kurz vor seinem Ende noch einmal aufzuckt, suchte auch sie den leichtgläubigen Menschen vor ihrem Verenden noch einmal durch ihren ganzen Glanz zu blenden. Der bekannte Rascowirth Schröpfer in Leipzig, der seinem Leben selbst durch einen Pistolenschuß in Leipzig 1774 ein Ende machte, **Saint Germain**, der eine Zeitlang in Frankreich, Italien, Deutschland und

anderen Ländern sein Unwesen trieb, über den aber wenige authentische Nachrichten vorliegen, G a s s i n e r, katholischer Pfarrer im Bisthum Gur, der sich bemühte die Rechte des Teufels nebst allem Kram von Heren- und Hexengeschichten, Besessenen und anderen Unstern, der nur noch in den Köpfen von einigen alten Weibern und Mönchen hauchte, auf das Ernstlichste zu vertheidigen, der berühmte Graf Cagliostro und Mesmer, das waren mit die letzten Ausläufer der Finsternisse, die nur zu lange die Vernunft unterjocht hatten. Zu gleicher Zeit aber war man eifrig bemüht die Nichtigkeit der vermeintlichen Wunder, welche die Phantasie der Leichtgläubigen in Schrecken setzte, durch die Lehren der Wissenschaft vor den Augen Aller darzulegen. Der Buchhandel brachte eine große Menge von Sammlungen magischer Künste aus dem Gebiete der Chemie, Physik und anderer Wissenschaften, zur Winderung des Glaubens an Schwarzkünstler, Wahrsager, Hexen und Weipenster*, gegen die ein wahrer literarischer Kreuzzug losgelassen wurde. So schrumpften denn die vermeintlichen großen Wunder der höllischen Mächte zu artigen Kunststücken zusammen, die Jedermann, mit dem Feitsaben in der Hand, selbst verrichten konnte.

Zu guter Letzt noch versuchte es der finstere Dämon sich an den Gelehrten selbst zu rächen. Wie meinen hier den Spuk mit der Wünschelruthe, der in den ersten Jahren unseres Jahrhunderts namentlich in den Köpfen einiger Münchener Gelehrten sehr stark rumorte und das Ausland zu sehr bitteren Bemerkungen über die deutsche gelehrte Welt veranlaßte. Die Entdeckung des Galvanismus, namentlich die Auslegung, welche man, und zwar zum Theil Galvani selbst, den merkwürdigen Erscheinungen gab, drohte die mühselige Errungenschaft der Wissenschaft, sich aus den Banden des Bösen befreit zu haben, wieder zu nichte zu machen. Durch Volta wurde die Verirrung bald abgeschnitten; aber dennoch hauchte das Unwesen wieder aller Orten, namentlich in Italien wurde es sorgsam gepflegt. So wollte allein A m o r e t t i, Bibliothekar in Mailand, bei seinen Reisen in die Apenninen und Alpen 150 Personen entdeckt haben, denen das Vermögen inne wohnte, verborgene Metalllager und Quellen aufzufinden. Die Neuheit der galvanischen Erscheinungen veranlaßte, daß die verständigen Gelehrten über diese Dinge nicht gleich die Acht aussprachen; sie versperrten den Weg zu weiteren Untersuchungen nicht, da sich nach den merkwürdigen Erscheinungen des Galvanismus, die von Tag zu Tage immer mehr hervortraten, doch immer eine Möglichkeit denken ließe, daß gewisse Menschen von der Nachbarschaft betrüchtlicher Metallmassen, verborgener Quellen und dergleichen in einem bemerkbaren Grade afficirt werden können, wenn sie eine sehr erhöhte Reizbarkeit besitzen. Aber eben dadurch, daß nur so wenige Menschen mit diesem feinen Gefühl begabt sein sollen, wird die Sache sehr leicht zu einem Schlusswinkel von Täuschungen und Betrügereien. Dies rief also zur Vorsicht auf und dazu kamen noch andere Thatfachen. So hatte z. B. einer der berühmtesten Leute dieser Art, der es sogar verstand die Treue der Weiber und Mädchen zu erforschen, 1693 dem Prinzen Condé offen gestanden, daß er zu seinen Wunderthaten nicht so sehr durch eigene Kühnheit als durch die Leichtgläubigkeit Anderer getrieben worden sei, welche hätten betrogen sein wollen und von denen ihm so zu sagen das in den Mund gelegt worden sei, weissen er sonst sich zu rühmen nicht gewagt haben würde. Leibniz' Worte: „Es giebt Viele, die lieber durch Wunder betrogen sein als mit der nackten und einfachen Wahrheit sich begnügen wollen“, ließen sich auch auf jene Münchener Gelehrten anwenden. Hier war noch

alles voll von den magnetischen Wunderkuren, die Mesmer kurz vorher verrichtet hatte, und als nun gar ein Mann austrat, der alle Elektricität der italienischen Luft in seine Adern aufgenommen hatte, da ging die Phantasie mit der Gelehrsamkeit durch. Mancher der alten Experimentatoren beschämte die jüngeren Meister durch die Nüchternheit, mit der er schon vor Jahrhunderten die Wunder der Wünschelruthe mit kritischem Auge angesehen, und über sie geurtheilt hatte. In der Exaltation sah man so ziemlich Alles, was man sehen wollte oder wovon man glaubte, daß es sichtbar sein mußte. Und so ließen denn auch die Offenbarungen, die von München aus der Welt verkündet wurden, Alles das, was uns Cicero über die *virgula divina* berichtet, weit hinter sich zurück. Freilich wissenschaftlicher Betrug war hier fern; man glaubte allen Ernstes an der Schwelle eines Tempels zu stehen, aus dem bald die wahren Götter der Physik hervortreten würden, bei deren Erscheinen das Alte untergehen müsse und die Herrschaft eines besseren Neuen beginnen würde. Man glaubte in der That Meeres in Händen zu haben, während man doch von allem Lustigen das Lustigste darbot. Und so mußte denn auch dieser Spuk verfliegen wie die Spreu im Winde, obgleich riesenhaft verschwand er doch bei nüchterner Betrachtung wie so manche andere Riesengestalt, die uns im Zwielicht entgegen tritt. Die Wissenschaft fühlte sich bereits zu stark und duldete das thörichte Beginnen, das die Phantasie aufregte und dadurch den Verstand zu befluchen suchte, auf die Dauer nicht mehr.

Vor dem Hahnenschrei der neueren Wissenschaft mußte denn endlich der Spuk, der so viele Jahrhunderte hindurch die Menschheit genarrt hatte, ganz weichen und heute sind die Jünger der Naturwissenschaft wieder das, was sie im fernsten Alterthum waren, Magier im wahren und edelsten Sinne des Wortes. Heute wie damals geht das ganze Streben dahin, die Natur zu erkennen und dem Menschen dienstbar zu machen, aber im Vertrauen auf die eigene Kraft ohne Beihülfe der bösen und guten Geister. Mit welchem Erfolge die Wissenschaft ihre Lehren zum Wohle der Menschheit nutzbar zu machen weiß, lehrt uns der Aufschwung, den die gesammte Gewerbsthätigkeit und der Ackerbau in den letzten Jahrzehnten genommen hat. Unbekümmert darum, ob diese riesigen Fortschritte mit günstigen oder ungünstigen Augen betrachtet werden, geht die Wissenschaft ihren geraden Weg fort, da sie weiß, daß durch das materielle Wohl auch das geistige gefördert wird.

Die sonst so gefürchteten Magier (im bösen Sinne des Wortes) sind heutiges Tages zu Taschenspielern und sonstigen Gauklern herabgesunken und sehr unschuldiger Natur, wie man es von einem Professor der Magie, wie sie sich so gerne nennen, auch nicht anders erwarten darf. Der Zulauf zu ihnen ist freilich sehr groß; ebenso das Erstaunen über das, was man sieht, aber die Furcht und damit auch die Macht sind längst verschwunden. Man staunt nicht mehr über die Wunder, sondern über die Fertigkeit, zu der es der Mensch bei natürlicher Gewandtheit und Geschick durch anhaltende Übung bringen kann. Ihre Schuld mag es freilich nicht sein, daß es so ist, aber die Wissenschaft macht es jedem leicht an ihrer Hand hinter die Coulissen zu schauen und da fallen selbst dem Leichtgläubigen die Schuppen von den Augen.

Die Naturwissenschaft tritt als unversöhnlicher Feind dem Aberglauben gegenüber. Dadurch, daß sie sich bemüht, die in der Natur waltenden Gesetze zu erkennen, gewinnt und verleiht sie die Einsicht, daß diese Gesetze, so zu sagen,

ewige Vernunftgesetze sind und in der Natur nichts wider das Gesetz geschehen kann. Dadurch, daß die Wissenschaft sich bemüht ihre Lehren im praktischen Leben zur Geltung zu bringen, weckt sie das Nachdenken, den gefährlichsten Feind des Aberglaubens, in Tausenden, und das ist ihr Hauptverdienst. Aber deshalb darf man nicht wähnen, daß der Glaube an übernatürliche Kräfte, die in den Gang der Natur eingreifen, ganz verschwunden sei. Mehr als man vielleicht zugestehen will besteht noch heute trotz aller Aufklärung das blinde Vertrauen zu den Wahrsagungen; Quacksalber allerlei Art treiben noch heute ihr Unwesen bei Menschen und Vieh und sogar die Liebestränke sind noch nicht außer Gebrauch gekommen. Selbst bei vielen Gebildeten ist der Aberglaube ein Schooskind; sie scheuen sich nicht öffentlich für ihn aufzutreten und die Wissenschaft zu beschuldigen, daß sie unsere Auffassung der Natur prosaisch, d. h. nüchtern mache, sie verflache und dadurch den Reiz, die Poesie des Aberglaubens zerstöre. Allein wenn man den Gräueln des Mittelalters, die nicht allein aller Poesie baar sind, sondern auch auf das Bestimmteste beweisen, daß die Welt des Aberglaubens in ihrer höchsten Entfaltung gerade das Gegentheil ist von Poesie oder Schönheit, und die ohne Zweifel einen weit größeren Einfluß auf das Leben und Denken ausgeübt haben, als es die meisten neueren Schilderungen jener Schreckenszeit vermuthen lassen, das Wort redet, so zeigt man nicht allein einen Mangel an Ehrerbietung vor der Wahrheit und Wirklichkeit, sondern man begeht auch einen Frevel gegen die Menschheit.

Daß man sich noch nicht ganz vom beschämenden Joche des Aberglaubens losgemacht, hat seine natürlichen Gründe. Unsere Erziehung ist nicht der Art, daß die Lehren der Wissenschaft überall ins Fleisch und Blut übergehen. Und dann dürfen wir auch nicht verhehlen, daß die Wissenschaft noch lange nicht dem Ziele ihrer unendlichen Aufgabe nahe gekommen ist. Die Nachtseiten der Naturwissenschaft lassen sich nicht leugnen. Aber darum darf unsere Hoffnung nicht verzagen; ein gut Ding will Weile haben. Eine gewisse Vollenbung kann man der Wissenschaft nicht absprechen; so wie sie uns viele Geheimnisse der Natur entschleierte und unseren blöden Augen offen dargelegt hat, wird sie uns nach und nach auch manches Andere, das uns jetzt noch verborgen ist, enthüllen und dadurch dem Aberglauben einen Schlupfwinkel nach dem anderen entreißen.

Zum Schlusse wollen wir noch den Umfang der Magie andeuten durch die Aufzählung der einzelnen vermeintlichen Wissenschaften, in die sie zerfiel. 1) Das Wahrsagen und Nativitätsstellen oder die divinatoire Magie mit ihren verschiedenen Zweigen als Astrologie, Chiromantie etc. Schon in der Mosaischen Gesetzgebung, so wie bei Jesaias finden wir bedeutende Züge zu ihrer Charakteristik. 2) Nekromantie oder die Wissenschaft Geister aller Art zu citiren. Dieser Zweig der Magie ist von ebenso hohem Alter als allgemeiner Verbreitung in der alten Welt. Schon Moses gedenkt der Todtenbeschwörer und Geistercitirer mehrmals; besonders waren die Bewohner von Canaan in dieser Kunst erfahren (5. Mos. XVIII. 11. Jes. VIII. 19. XXXIX. 4. 1. Sam. XXVIII. 7). 3) Die Rauchredner-Kunst, die gewöhnlich mit der vorhergehenden verknüpft war. Von ihr sprechen Moses und Jesaias gleichfalls und zwar in sehr charakteristischen Ausdrücken: „über den Staub hinwegwispeln, aus der Erde reden etc.“ (3. Mos. XIX. 31. XX. 6. 27 Jes. XIX. 3.). Die Künstler dieser Art behaupteten, daß irgend ein Gott oder Dämon in ihren Leib führe und daraus seine Orakel vor-

brächte (Apostelgesch. XVI. 18. Aus späterer Zeit erzählt uns Brewster ein anmuthiges Beispiel, wie ein Kammerdiener Franz I. diese Kunst zu seinem Vortheil auszubeuten suchte (s. Art. Bauchredner, Bd. I. S. 752 ff.). 4) Alchymie oder die Kunst, Gold, Silber und Edelsteine anzufertigen. Ihr Glanzpunkt fällt ins 16. und 17. Jahrhundert. 5) Die Kunst, Sonnen- und Mondfinsternisse willkürlich hervorzubringen. Dieser Zweig der Magie war im Alterthum, wie heute noch bei allen uncultivirten Völkern, der höchste Triumph der geheimen Wissenschaft (2. Mos. VII. 11. XXII. 17. 5. Mos. XVIII. 10. Jes. XLVII. 9. Jer. XXVII. 9. Dan. II. 2). 6) Die Kunst, alle Geseze und Kräfte der Natur willkürlich aufzuheben und zu verändern. Dies ist die höchste Spitze der Magie, wo sie in absolute Narrheit und einen die Vernunft verhöhrenden Unsinn umschlägt. Hierher gehören das Hervorbringen von Donner, Hagelwetter, Krankheiten der Thiere und Menschen, von Haß und Liebe; Verwandlungen der Thiere, Luftfahrten, das Festbannen, das Freischießen, das Wettermachen und viele andere Tollheiten. Viele dieser höllischen Künste waren schon im fernsten Alterthum im Gange, aber erst durch die Bulle Innocenz VIII und durch den Hexenhammer (*malleus maleficarum*), — ein unsinnigeres Buch ist wohl zu keiner Zeit geschrieben worden und leider müssen wir gestehen, daß der Verfasser ein deutscher Mönch Sprenger war und daß die theologische Facultät der Universität Cöln, freilich nicht ohne einige Nöthigung, den Inhalt dieses Buches, der in uns abwechselnd die Empfindungen der Wehmuth und des Abscheus hervorrufte, durch Unterschrift des Decans und sämtlicher Mitglieder (1487) anerkannte; — wurden sie systematisch ausgebildet. Und nun wurde mit dem Scheiterhaufen bestraft, was den heidnischen Dichtern im Alterthum Stoff zum Lachen gegeben hatte. 7) Die Kabbala, eine Schöpfung der neueren christlichen Chemie, voller wunderbarer Dinge, Wörter-Buchstabengeheimnisse und Hieroglyphen-Bilder, aller Arten von geschichtlicher Deutungen und theosophischer Beziehungen fähig und empfänglich. Während die einen diese vielgestaltige, orientalisches-hebräische Wissenschaft, die der Rabbi Akiba und sein Schüler Simon Rea Jochai in den ersten Jahrhunderten der christlichen Zeit aus den Trümmern der alten Magie zusammenstellte, zu allen Zeiten als leere Träumerei verspotteten, wurde sie von anderen als die Quelle tiefster Weisheit auf das Höchste verehrt.

Auf eine Aufzählung der Literatur leisten wir Verzicht, da diese fast eine ganze Bibliothek ausmacht. Wer diese Verirrung des menschlichen Geistes näher studiren will, der findet in antiquarischen Verzeichnissen ganze Sammlungen hieher gehöriger Werke. Selbst die Gegenwart ist nicht arm an derlei Erzeugnissen und diese Speculationen auf die Unwissenheit und Leichtgläubigkeit der großen Menge gereichen dem Buchhandel wahrlich nicht zur Ehre. — Dem Laien, der tiefere Studien scheut und dem ein kurzer und allgemeiner Abriss derjenigen Haupterscheinungen, denen man den Namen „natürliche Magie“ gegeben hat, so wie die Zurückführung derselben auf wissenschaftliche Grundlagen, genügt, empfehlen wir ganz besonders das schon angeführte interessante Werk von Brewster.

W. B.

Zauberlaterne (*laterna magica*) heißt ein optisches Instrument, mit dessen Hülfe man kleine auf Glas gemalte Bilder im Dunkeln an einer Wand oder auf einem Schirme vergrößert darstellen kann.

Aus Art. Linsenglas, Bd. IV. S. 558 sehen wir, daß convexe Linsen

von Gegenständen, welche außerhalb ihrer Brennweite stehen, umgekehrte physikalische Bilder auf der anderen Seite der Linse geben, also Bilder, welche durch wirkliche Vereinigung von Lichtstrahlen erzeugt sind und deshalb auf Flächen aufgefangen werden können. Die Zauberlaterne besteht nun, wie beifolgende Fig. I. im Durchschnitte zeigt und Fig. II. in der Ausführung veranschaulicht, aus einem Hohlspiegel ab , in dessen Brennpunkte c eine stark leuchtende Flamme brennt, so daß das von dem Spiegel in parallelen Strahlen reflectirte Licht auf

den zu vergrößernden Gegenstand fällt, welcher in die Spalte d eingeschoben wird; von hier geht das Licht durch die beiden convergen Linsen fg und hk , deren Abstand mittelst der in



Fig. II. sichtbaren Schraube vergrößert oder verringert werden kann, indem man die Röhre der Linse hk in der Röhre der Linse fg verschiebt. Wollte man nur die Linse hk anwenden, so müßte das Object bei d , da es außerhalb der Brennweite derselben stehen muß, in einer unbequem großen Entfernung von der Linse sich befinden, sofern man eine irgend bedeutende Vergrößerung zu erzielen beabsichtigt. Um diese unbequeme Länge des Apparates zu vermeiden, ist die zweite Linse fg eingeschoben.

Nach Art. Linsenglas, Bd. IV. S. 551 gilt für die convexen Linsen die Bedingungs Gleichung

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}.$$

Es ist also $a' = \frac{af}{a-f}$, und bezeichnen wir die Brennweite der Linse fg

mit f' , die der Linse hk mit f'' , ferner den Abstand der beiden Linsen mit d , so muß

$$\frac{af'}{a-f'} + d > f'' \text{ sein.}$$

Dies wird jedenfalls erfüllt, wenn das Object innerhalb der Brennweite der Linse fg steht, also $a < f'$ ist, weshalb die Linse nahe an der Spalte d sich befindet. Da außerdem sich ergibt:

$$a > \frac{f'}{1 + \frac{f'}{d-f''}},$$

so folgt hieraus, daß mit größer werdendem Abstände der beiden Linsen eine Annäherung des durch die Linse fg erzeugten Bildes an den Brennpunkt der Linse hk eintritt, daß also eine Verringerung des Abstandes der beiden Linsen eine Vergrößerung des Bildes und ein Fortrücken desselben in größere Ferne von dem Apparate zur Folge hat und umgekehrt. Rücken beide Linsen einander so

nahe, daß das durch die Linse fg erzeugte Bild in den Brennpunkt der Linse hk zu stehen kommen würde, so rückt das durch den ganzen Apparat erzeugte Bild in unendliche Entfernung, d. h. es verschwindet.

Hieraus ergiebt sich, wie man mit einer Zauberlaterne zu experimentiren hat. Da das Bild eine zum Objecte umgekehrte Stellung bekommt, weil das durch die Linse fg erzeugte Bild außerhalb der Brennweite der Linse hk steht, so schiebt man das Object selbst in umgekehrter Lage ein. Soll das Bild auf einer weißen Wand oder auf einer ausgespannten weißen Leinwand erscheinen, so gehört zu der bestimmten Entfernung des Apparates von dieser Wand oder dieser Leinwand ein bestimmter Abstand der beiden Linsen, den man durch Verschieben des Rohres, in welchem sich die Linse hk befindet, gewinnt. Verändert man den Abstand der beiden Linsen, oder die Entfernung des Apparates von der Wand, so wird das Bild undeutlich.

Somit ist klar, wie die im Artikel: Nebelbilder, Bd. V. S. 42 besprochenen Erscheinungen entstehen. Die Objecte sind auf Glas mit durchscheinenden Farben gemalte Bilder, während die übrigen Stellen mit einem undurchsichtigen Firniß überzogen werden. Anstatt das Bild auf eine Wand oder auf einen Schirm fallen zu lassen, fängt man es auch auf Rauch auf. Alsdann liegen die einzelnen Theile des Bildes nicht in einer Ebene, sondern theilweise hinter einander und scheinen sich zu bewegen. Hierdurch entstehen die sogenannten Phantasmagorien. Daß der Raum, in welchem die Vorstellungen erfolgen sollen, ganz dunkel und die Laterne ebenfalls möglichst lichtdicht verschlossen sein müsse, versteht sich von selbst. Um die Bilder möglichst hell zu machen, bringt man wohl noch eine dritte convexe Linse zwischen Flamme und Object an, welche das von dem Spiegel kommende Licht auf das Object concentrirt. Je heller die Flamme leuchtet, desto heller treten auch die Erscheinungen auf. Deshalb wendet man bei größeren Apparaten das Drumond'sche Licht an (s. Art. Nebelbilder). Es geschieht dies namentlich bei der Benutzung der Zauberlaterne als Hydrooxygenas-Mikroskop, dessen Wirkung der eines Sonnenmikroskops gleichkommt, worüber Art. Mikroskop, Bd. IV. S. 1070 das Nähere anliegt. Benutzt man, wie bei der Darstellung der Nebelbilder, zwei Zauberlaternen, die ihren erleuchteten Kreis auf dieselbe Stelle der Wand oder der Leinwand fallen lassen, so kann man die interessantesten Farbenspiele hervorbringen, wenn man mit durchscheinenden Farben bemalte Glasscheiben als Objecte benutzt und rotiren läßt. Noch dürfte die Bemerkung nicht überflüssig sein, daß, wenn man die Bilder auf einer ausgespannten Leinwand erscheinen lassen will, diese naß zu machen ist, sobald dieselbe sich zwischen den Zuschauern und der Zauberlaterne befindet, weil sie dann durchscheinender wird; sind hingegen die Zuschauer mit der Zauberlaterne in demselben Raume und soll das Bild auf der Leinwand durch Reflexion wirken, so bleibt die Leinwand trocken.

Die Zauberlaterne ist von Athanasius Kircher erfunden*), nicht von Roger Baco 1252, wie Ozanam behauptet, der auch von einer Beschreibung derselben bei Schwenter spricht**). Auch Thomas Young

*) Ars magna lucis et umbrae, edit. secunda Amsteled. 1671. p. 768 u. 769; in der ersten Ausgabe Rom. 1646. p. 913 findet sich nur eine allgemeine Andeutung.

**) Ozanam, Recreations mathem. T. III. p. 247. Schwenter's mathemat.

hält irrtümlich R. Vaco für den Erfinder *). In neuerer Zeit hat man namentlich behufs Darstellung der Nebelbilder die Zauberlaternen mit größerer Sorgfalt und in größerer Vollkommenheit angefertigt. Zu den Verbesserungen gehört die argantische Lampe, oder selbst Drumond'sches Licht und die Verwendung achromatischer Gläser.

H. C.

Zeichen des Thierkreises, s. Thierkreis.

Zeit ist in unserer Vorstellung ein nothwendiger Factor einer jeden Bewegung. Zur Messung der Zeit kann man sich jeder ununterbrochenen gleichförmigen Bewegung bedienen und unsere Zeitmesser, die Uhren (s. Chronometer), sind nichts anderes als Instrumente mit ununterbrochener gleichmäßiger Bewegung. Da jedoch diese Uhren selbst etwas Gemachtes sind, so ist ihre eigene Bewegung erst nach einer anderen sich von selbst ohne unser Zutun vollführenden Bewegung als gleichförmig zu reguliren. Eine solche Bewegung hat die Erde selbst in ihrer Axiendrehung. Außer dieser gleichmäßigen Bewegung hat aber die Erde noch eine zweite ungleichförmige Bewegung, nämlich die in ihrer Bahn um die Sonne. Jene erste, nicht diese zweite Bewegung wird daher allein zur Zeitmessung zu benutzen sein. Weder die eine, noch die andere Bewegung der Erde können wir indeß ohne Weiteres an dieser selbst wahrnehmen, wir erkennen sie aber an der scheinbaren Bewegung der anderen Himmelskörper, unter denen die Erde im Himmelsraum sich bewegt. Die tägliche Bewegung der Sterne von Osten nach Westen ist eine Erscheinung in Folge der Axiendrehung der Erde, die Bewegung der Sonne unter den Fixsternen eine Erscheinung in Folge der Bewegung der Erde in ihrer Bahn. Nur die tägliche Bewegung der Sterne (deren einer auch die Sonne) von Osten nach Westen ist, wie aus dem Vorhergehenden folgt, zur Zeitmessung brauchbar, weil sie gleichmäßig ist.

Beobachten wir einen Fixstern, so bemerken wir, daß derselbe in Folge der Axiendrehung der Erde sich in gleichen Zeiten um dieselbe herumbewegt; die Zeit einer solchen Umdrehung nennen wir einen Sterntag. Derselbe hat für alle Fixsterne gleiche Länge und wird in 24 Stunden *z.* getheilt. Diese Rechnung nach Sterntagen giebt die Sternzeit, und nach ihr rechnen namentlich die Astronomen. Gewöhnlich nimmt man den Frühlingspunkt als denjenigen an, dessen Bewegung im Aequator (alle Bewegungen der Fixsterne geschehen in Kreisen, welche dem Aequator parallel sind, d. h. in Ebenen senkrecht auf der Erdoberfläche) die Sternzeit bestimmt. Die Dauer von einer Culmination des Frühlingspunktes, d. h. von einem Durchgange desselben durch den Meridian eines Beobachtungsortes, und zwar durch den oberen sichtbaren durch den Zenith des Ortes gehenden Theil des Meridians, bis zur nächsten solchen Culmination ist ein Sterntag. Während dieser Zeit bewegt sich der Frühlingspunkt durch alle 360 Grade des Aequators, d. h. er legt in jeder Stunde $\frac{360}{24} = 15$ Grade desselben zurück. Man sagt, der Stundenwinkel sei 1, 2, 3 . . . Uhr,

Erquickstunden, Nürnberg 1681. Ausgabe 31. Hier ist nur von den Bildern der Hohlspiegel die Rede.

*) Lectures on Natur. Philos. T. I. p. 473 u. T. II. p. 323; die Beschreibung der Zauberlaterne ebenda T. I. p. 426.

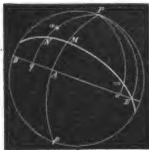
wenn der Frühlingspunkt von seiner Culmination um 15, 30, 45 . . . Grade westlich entfernt ist, zugleich hat der Beobachtungsort 1, 2, 3 . . . Uhr Sternzeit.

Die Beobachtung der Fixsterne zur Zeitbestimmung ist für das bürgerliche Leben darum nicht wohl brauchbar, weil die Fixsterne nur während der Nacht zu sehen sind, am Tage aber die Zeitbestimmungen am meisten gebraucht werden. Daher hat man es im gemeinen Leben von jeher vorgezogen, die Sonne zu beobachten, um die Zeit nach ihr zu bestimmen. Dazu kommt, daß sich diese Beobachtung der Zeit mittelst des Schattens, den die Sonne bewirkt, sehr einfach vollführen läßt (s. d. Art. *Sonnenuhren*). Die Bewegung der Sonne ist jedoch nicht völlig gleichförmig, weil in ihr nicht bloß die Aendrehung, sondern auch die Bahnbewegung der Erde erscheint. Nichtsdestoweniger rechnet man doch von einer Culmination der Sonne bis zur nächsten einen Tag (*Sonnentag*) und theilt denselben in 24 Stunden zc. Diese wahre *Sonnenzeit* hat daher Tage von ungleicher Länge und sie wird durch die *Sonnenuhren* angegeben. Da aber nach einer solchen Zeit sich nicht rechnen läßt, so hat man eine mittlere Tageslänge angenommen, welche weder so kurz wie der kürzeste wahre Sonnentag, noch so lang wie der längste wahre Sonnentag ist. Diese mittlere *Sonnenzeit* ist es, nach welcher wir gewöhnlich rechnen. Man findet sie, indem man annimmt, es gäbe eine Sonne (die mittlere Sonne), welche in der Ebene des Aequators in einem Kreise sich gleichmäßig um die Erde herumbewegt, so daß sie 1) täglich einmal sammt dem Aequator um die Erde ginge und 2) im Aequator selbst zugleich in derselben Richtung so fort ginge, daß sie genau in derselben Zeit einmal denselben durchläufe, während die wirkliche Sonne einmal die Elliptik zurücklegt. Die Bewegung dieser Sonne im Aequator beträgt täglich 09,9856472; so viel Grade wird daher die mittlere Sonne mehr durchlaufen, als ein Fixstern, d. h. es verhält sich (da im Sterntage nur 360° zurückgelegt werden) Sterntag : mittlerem Sonnentag = 360 : 360 + 0,9856472. Da der Sonnentag 24 Stunden hat, so ist die Länge des Sterntages x gegeben durch die Proportion

$$x : 24 = 360 : 360,9856472,$$

$$\text{d. h. } x = 23 \text{ St. } 56' 4'', 09133 \text{ mittlere Sonnenzeit.}$$

Schärfer bestimmt wird das ganze Verhältniß durch folgende Betrachtung. Es gehe zu einer gewissen Zeit die Sonne mit einem Fixstern zugleich durch den



Meridian; so wird sie bis zu dem nächstfolgenden Mittag in der Elliptik NMB (s. nebenstehende Figur) um den Bogen NM gegen Morgen fortgerückt sein, welcher zwischen dem durch den Stern s gelegten Abwigungskreis PsQ und dem Meridian $PMAP$ enthalten ist, und der astronomische Tag wird größer sein, als die tägliche Umlaufzeit eines Fixsterns oder als ein Sterntag, um die Zeit, welche der Bogen qA des Aequators DAB gebrauchte, sich durch den Meridian durchzuschleichen. Man denke sich eine zweite Sonne, welche die Elliptik in derselben Zeit mit gleichförmiger Geschwindigkeit durchlaufe, in welcher die wahre Sonne einmal in der Elliptik herumkommt, und mit letzterer zugleich durch den Punkt der Erdoberfläche, mithin auch durch

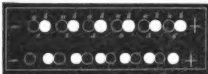
den Punkt der Erdferne gehe; so wird man dadurch die von der ungleichförmigen Bewegung der Sonne abhängende Ungleichheit der Tage verschwinden machen, aber es wird noch die von der schiefen Lage der Ekliptik gegen den Aequator abhängende Ungleichheit übrig bleiben. Denn nimmt man zwei gleiche Bogen NM, mB der Ekliptik, den ersten von einem Solstitialpunkt, den letzteren von einem Aequinoctialpunkt an, und legt durch ihre Endpunkte die Abweichungsfreife PNq, PMA, Pma, PB; so wird der Bogen Aq des Aequators, welcher dem in der Nähe des Solstitiums liegenden Bogen NM der Ekliptik entspricht, größer als NM, der dem Aequinoctialpunkt B aber anliegende Bogen Ba kleiner als Bm oder NM sein, weil der Bogen NM nahe mit einem Wendekreis zusammenfällt, dessen Halbmesser in dem Verhältniß des Cosinus der Schiefe der Ekliptik zum Sinus totus kleiner ist, als der Halbmesser des Aequators, und der Bogen mB die Hypotenuse eines rechtwinklichen Dreiecks Bma ist, welche wiederum in dem Verhältniß des Sinus totus zum Cosinus des Winkels Bma oder der Schiefe der Ekliptik größer ist als der Bogen Ba. Um auch diese Ungleichheit verschwinden zu machen, lasse man die Bahn der sich gleichförmig bewegenden erdichteten Sonne mit dem Aequator zusammenfallen; so wird ihre gerade Aufsteigung gleichförmig wachsen, und die Zwischenzeiten zwischen zwei auf einander folgenden Durchgängen dieser erdichteten Sonne durch den Meridian werden gleich groß sein. Man nennt die Zeit, welche diese erdichtete Sonne zeigen würde, die mittlere Zeit, und diejenige, welche die Sonne wirklich zeigt, die wahre Zeit. Der Unterschied zwischen beiden heißt die Zeitgleichung, welche hiernach gefunden wird, wenn man den Unterschied zwischen der wahren geraden Aufsteigung der Sonne und der geraden Aufsteigung der erdichteten Sonne in Zeit verwandelt, indem man 15° auf eine Stunde rechnet. Dieselbe ist eine Größe, die man mit ihrem Zeichen zur wahren Zeit für jeden gegebenen Augenblick hinzuzufügen hat, wenn man die mittlere Zeit dieses Augenblicks erhalten will. Bezeichnet man durch a die wahre Aufsteigung der Sonne und durch l die mittlere Aufsteigung der anderen Sonne, so hat man für die Zeitgleichung x , in Zeitminuten ausgedrückt, deren 15. Theil eine Bogenminute ist, die Formel $x = \frac{1}{15} (a - l)$. Die astronomischen Kalender geben unter der Aufschrift mittlere Zeit im wahren Mittag an, was eine gleichförmig nach mittlerer Zeit gehende Uhr zeigen muß, wenn die Sonne durch den Meridian geht. Man bedient sich in der Astronomie dieser mittleren Zeit bei der Untersuchung der Bewegung der Himmelskörper, und sie dient ebenso wie die Sternzeit zur Prüfung des gleichförmigen Ganges der Uhren. —

Weiteres über Zeitrechnung s. in d. Art. Chronologie, Jahr, Monat, Kalender, Cyclus, Meridian.

Jenith, s. Scheitel.

Zersetzung, elektrochemische. Die Zersetzung chemischer Verbindungen durch den elektrischen Strom oder die sogenannte Elektrolyse ist im Art. Galvanismus (Vd. III. S. 331, 366) näher besprochen worden. In Bezug auf die Moleküle einer solchen Verbindung, des sogenannten Elektrolyten, lassen sich immer zwei ungleichartige Bestandtheile a und b (s. umstehende Figur) oder zwei heterogene Gruppen von Bestandtheilen unterscheiden, die sich zu der Elektricität auf verschiedene Weise verhalten. Der elektrolytische Proceß wird nun von beiden Polen (Elektroden) zugleich angetregt, indem sich der eine Bestandtheil a der

negativen, der andere b der positiven Elektrode zuwendet. Damit wird aber auch eine andere Anordnung der Bestandtheile in den zwischenliegenden Moleculen bewirkt, in der Art, daß die beiden ungleichartigen Bestandtheile a und b je zweier benachbarter Moleculé einander



zugekehrt werden. In Folge des elektrischen Gegensatzes der beiden Elektroden wird der chemischen Affinität zwischen den Bestandtheilen des Elektrolyten eine andere Richtung gegeben, so daß der Bestandtheil b des Moleculs

1 eine stärkere Affinität zu dem Bestandtheil a des nächsten Moleculs 2 gewinnt u. s. f. Und ganz ähnlich verhält es sich auf der positiven Seite; während sich nämlich der Bestandtheil b des Theilchens 6 vorzugsweise der positiven Elektrode zuwendet, gewinnt der andere Bestandtheil a eine stärkere Affinität zu dem Bestandtheil b des benachbarten Moleculs 5 u. s. f. Während nun im Acte der Entladung der Bestandtheil a des Moleculs 1 an der negativen Elektrode, und zugleich der Bestandtheil b des Moleculs 6 an der positiven frei hervortritt, verbindet sich der Bestandtheil b des Moleculs 1 mit dem Bestandtheil a des Moleculs 2, und a von 6 mit b von 5 u. s. f. Es läßt sich nun leicht erkennen, daß die Richtungsänderung der Bestandtheile in den Moleculen der Flüssigkeit, wie auch die Electrolyse der letzteren selbst keineswegs allein durch den elektrischen Gegensatz der beiden Elektroden, sondern auch ebenso sehr durch die heterogene Natur der mit einander verbundenen Bestandtheile des Elektrolyten bedingt ist. In dieser Beziehung müssen wir Faraday ganz beistimmen, wenn er sagt, daß er sich die Effekte entsprungen denke aus inneren, der in Zersetzung begriffenen Substanz angehörigen Kräften und nicht aus äußerlichen, wie sie betrachtet werden könnten, wenn sie unmittelbar und, wie wir hinzufügen, allein von den Polen abhingen.

Was nun die Entladung einer Volta'schen Kette oder Säule durch den Elektrolyten, oder was den in diesem auftretenden elektrischen Strom insbesondere betrifft, so haben wir bereits an dem oben citirten Orte (Art Galvanismus Bd. III. S. 369 ff.) hervorgehoben, daß man sich unter diesem Strome nicht etwa ein einseitiges Fließen der Electricität von dem einen (negativen) Pol nach dem anderen hin vorzustellen habe, sondern daß auch die der Flüssigkeit eigenthümliche Electricität zu einer bestimmten Thätigkeit aufgeregt werde. Bei der Entladung dringt aus der negativen Elektrode eine gewisse Electricitätsmenge in den zunächst gelegenen Querschnitt der Flüssigkeit ein, während die positive Elektrode eine entsprechende Menge von dem sie berührenden Querschnitte der Flüssigkeit aufnimmt. Und dann findet auch in der eingeschalteten Flüssigkeit eine elektrische Entladung von einem Molecul zum anderen statt.

Während nun an den Elektroden die Bestandtheile (Atome) des Elektrolyten frei werden, und die zurückbleibenden Atome einen fortwährenden Austausch zwischen den einzelnen Moleculen erfahren, bewegen sich die beiden ungleichartigen Atome eines jeden Moleculs nach entgegengesetzten Richtungen zu einander hin, um mit den betreffenden Atomen der benachbarten Moleculé zu neuen Moleculen derselben Art zusammenzutreten. Diese sogenannte Wanderung der Zonen versteht man sich wohl dadurch zu versinnlichen, daß man sich die Atome der Moleculé

über- oder unter einander in horizontaler Richtung allmählig an einander verschoben denkt. Die relativen Wege aber, welche die beiden Atome (Ionen) während der Elektrolyse zurücklegen, hat W. Hittorf *) in einer größeren Anzahl von Fällen durch sorgfältige Versuche zu bestimmen gesucht. — Dabei wird angenommen, daß die Ionen nicht gerade in der Mitte ihres Weges sich begegnen, sondern auf $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, überhaupt auf $\frac{1}{11}$ desselben.

Wenn die wässrige Lösung eines Sauerstoffsalzes, z. B. von schwefelsaurem Kali oder Natron, der Elektrolyse unterworfen wird, so wird bekanntlich an der positiven Elektrode außer der Säure noch ein Äquivalent Sauerstoff und an der negativen Elektrode außer der Basis noch ein Äquivalent Wasserstoff frei. Da hierin ein Widerspruch mit dem Faraday'schen Gesetze der festen elektrolytischen Action zu liegen schien, so nahm man mit Daniell an (s. Art. Galvanismus, S. 343 ff., 347 ff.), daß die Sauerstoffsalze wahrscheinlicher Weise den sogenannten Haloid- oder binären Salzen analog zusammengesetzt seien, wonach man denn die gewöhnliche Formel für jene Salze, nämlich $\text{SO}_2 + \text{RO}$ für die schwefelsauren Salze, in die Formel $\text{SO}_4 + \text{R}$ umwandelte. Bei der Elektrolyse wird dann das Radical SO_4 an der positiven Elektrode und das Metall R als solches, an der negativen Elektrode ausgeschieden. Das letztere kann sich auf Kosten des Wassers wieder oxydiren und dadurch secundär zur Entwicklung von Wasserstoff Veranlassung geben, während das Radical SO_4 an der positiven Elektrode sich mit dem Wasserstoff des Wassers zu $\text{SO}_4 + \text{H}$ verbindet und dadurch eine Sauerstoffentwicklung veranlaßt.

Neuerdings ist nun Magnus **) gegen die Annahme einer Verbindung von der Art SO_4 aufgetreten, deren Entwicklung an der positiven Elektrode noch niemals beobachtet worden sei, wie denn auch eine solche Annahme nicht nöthig erscheine, um die von Daniell und Miller beobachteten Thatsachen, nämlich die oben erwähnte sogenannte doppelte Zersetzung zu erklären. Es zeige sich zwar an der positiven Elektrode stets ein dem abgeschiedenen Metall entsprechendes volles Äquivalent Sauerstoff, dagegen von der Säure nur ein Theil, oft nur 60 Proc., während die übrige Menge bei Anwendung einer porösen Scheidewand in der negativen Zelle gefunden werde. Magnus kam nun durch seine elektrolytischen Untersuchungen zu folgenden Resultaten.

1) Sind mehrere Salze in derselben Flüssigkeit vorhanden, so zersetzt der Strom bei einer gewissen Intensität nur eines derselben. Im Allgemeinen stellte sich heraus, daß von den folgenden Metallen, wenn mehrere derselben mit Säuren verbunden in derselben Lösung vorhanden sind, das voranstehende immer früher ausgeschieden wird: Zink, Cadmium, Blei, Zinn, Kupfer, Wismuth, Silber, Gold. Wird ein Salz, gelöst in Wasser, der Elektrolyse unterworfen, so wird bei einer gewissen Stromstärke nur das Salz, aber nicht das Wasser zersetzt. Für jeden zusammengesetzten Elektrolyten giebt es daher eine Intensitätsgrenze, bei welcher nur das Salz und nicht das Wasser zersetzt wird.

2) Bei Anwendung von Strömen, deren Intensität geringer ist als die betreffende Grenze, geht die ganze Menge der Electricität nur an die Substanz über, auf welche sich jene Grenze bezieht. Diese Substanz wird allein zersetzt. Die

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 177; Bd. XCVIII. S. 1; Bd. CIII. S. 1.

**) Pogg. Ann. Bd. CII. S. 1.

Grenze selbst entspricht daher dem Maximum von Elektricität, welches von der betreffenden Substanz unter den gegebenen Umständen geleitet werden kann, oder dem Maximum dieser Substanz, das bei unverändertem Elektrolyten in einer gegebenen Zeit zersetzt werden kann.

3) Die Grenze ist abhängig von der Größe der Elektroden, von der Zersetzbarkeit der verschiedenen Bestandtheile des Elektrolyten, und von dem Verhältniß, in welchem sich diese in ihm vorfinden.

4) Da bei Anwendung derselben Intensität die Elektroden einander näher oder ferner stehen können, so ist auch das Maximum der besser leitenden Substanz, das durch denselben Strom und dieselben Elektroden zersetzt wird, dasselbe, die Elektroden mögen einander näher oder ferner sein.

5) Die Intensitätsgrenze ist der Größe der Elektroden proportional, vorausgesetzt, daß der Querschnitt des Elektrolyten gleich den Elektroden ist. Diese Proportionalität gilt aber nur so lange, als die Zusammensetzung des Elektrolyten ungeändert bleibt.

6) Die Leitung der Elektricität durch einen Elektrolyten läßt sich auf die Vertheilung der Elektricität auf isolirten Leitern zurückführen. Auch Magnus hegt die Ansicht, daß man sich die Bewegung der Elektricität in einem Leiter nicht wie diejenige einer Flüssigkeit in Röhren vorzustellen habe, sondern vielmehr wie das Ueberschlagen von Funken durch eine Reihe von isolirten Kugeln, welche vertheilend auf einander wirken, nachdem auf der ersten unter dem Einfluß einer äußeren elektromotorischen Kraft eine Vertheilung der neutralen Elektricität eingeleitet wurde. Befänden sich viele solcher Kugelreihen neben einander, theils aus guten, theils aus schlechten Leitern bestehend, so werde das Ueberströmen der Elektricität so lange zwischen den besseren Leitern geschehen, bis die Menge der zu strömenden Elektricität eine gewisse Grenze überschreite, wo dann auch auf den schlechter leitenden Kugelreihen die Vertheilung stark genug werde, um ein Ueber schlagen von Funken von einer Kugel nach der anderen zu veranlassen.

7) Es bedarf derselben Kraft, um eine einfache Substanz aus einer binären Verbindung auszuscheiden, die nöthig ist, um sie aus einer zusammengesetzteren salzartigen Verbindung zu trennen. Ebenso ist dieselbe Kraft erforderlich, um dieselbe Menge von Chlor aus den Chlorüren wie aus den Chloriden von Zinn und Kupfer abzuscheiden. Allein man erhält dabei aus den Chlorüren doppelt so viel Metall als man durch denselben Strom aus den Chloriden erhält. Auch ist dieselbe Kraft nöthig, um aus einer Auflösung von Jodsäure und aus verdünnter Schwefelsäure, die in getrennten Gefäßen zersetzt werden, gleiche Mengen von Sauerstoff zu erhalten. Dabei wird aber für ein Aequivalent Wasserstoff, das aus der letzteren ausgeschieden wird, nur ein Fünftel Aequivalent Jod erhalten.

8) Das Faraday'sche Gesetz ist in seiner vollsten Ausdehnung anwendbar, indem auch aus zusammengesetzteren salzartigen Verbindungen stets äquivalente Mengen ausgeschieden werden. Doch sind die galvanischen Aequivalente nicht dieselben wie die chemischen. So ergiebt sich z. B. in Bezug auf die in 7) erwähnten Verbindungen folgende Vergleichung der chemischen und galvanischen Aequivalente:

Chem. Aequiv.	HO	JO ₅	Cu Cl	Cu ₂ Cl	Sn Cl ₂	Sn Cl
Galv. Aequiv.	HO	J ¹ / ₅ O	Cu Cl	Cu ₂ Cl	Sn ¹ / ₂ Cl	Sn Cl

9) Die Salztheile verändern in dem Elektrolyten ihre Stelle theils durch die fortwährenden Zersetzungen und Verbindungen, theils durch Diffusion. Auf die letztere hat das specifische Gewicht der Lösung einen bedeutenden Einfluß, der jedoch bei verschiedenen Salzlösungen verschieden ist.

Zerstreung des Lichts. Im Artikel Brechbarkeit (Bd. I. S. 866) ist näher angegeben, daß das weiße Licht, wenn es gebrochen wird, in farbige Strahlen zerlegt wird, die je nach dem verschiedenen Grade der Brechbarkeit in nachstehender Weise auf einander folgen: Roth, Orange, Gelb, Grün, Hellblau, Dunkelblau, Violett. Hierbei wird Roth am wenigsten, Violett am meisten aus der ursprünglichen Richtung abgelenkt. Diese Trennung des weißen Lichts in Licht von verschiedenen Farben nennt man **Zerstreung des Lichts** oder **Dispersion**. Verschiedene Substanzen zeigen unter sonst gleichen Verhältnissen verschiedene Zerstreungsverhältnisse; das Zerstreungsvermögen oder Dispersionsvermögen ist also für verschiedene Substanzen verschieden. Wir verweisen in dieser Beziehung auf die im Art. Brechbarkeit (Bd. I. S. 871) befindliche Tabelle und machen zugleich auf den Eingang des Art. Farbe (Bd. III. S. 23) aufmerksam, in welchem der frühere Artikel in manchen Beziehungen eine Erweiterung und Vervollständigung erfährt.

Mit dieser Zerstreung des Lichts ist das unregelmäßig reflectirte Licht, welches in keiner bestimmten Richtung von der Oberfläche des vom Lichte getroffenen Körpers zurückgeworfen, sondern nach allen Seiten hin zerstreut wird, nicht zu verwechseln. Auf diesem zerstreuten Lichte, welches um so bedeutender ausfällt, je weniger polirt die Oberfläche des vom Lichte getroffenen Körpers ist, beruht das Sichtbarwerden der Körper, welche kein eigenes Licht ausstrahlen. Außerdem hat in diesem zerstreuten Lichte die verschiedene Farbe, welche die in der Natur vorkommenden Körper unserem Auge darbieten, seinen Grund, worüber Art. Farbe, Bd. III. S. 40 das Nähere enthält. Besondere Beachtung verdient hierbei, ob der Körper undurchsichtig oder durchsichtig ist. Im ersteren Falle kommt es darauf an, welche Farbenstrahlen absorhirt und welche als zerstreutes Licht reflectirt werden; im letzteren Falle hat man die Farbe im reflectirten und im durchgelassenen Lichte zu unterscheiden, und also sein Augenmerk darauf zu richten, welche Farbenstrahlen als zerstreutes Licht reflectirt, welche absorhirt und welche durchgelassen werden.

Worin diese verschiedenen Phänomene der Dispersion, der Absorption, der Reflection begründet sind, darüber spricht sich Art. Licht, Bd. IV. S. 525 aus, und somit könnten wir diesen Artikel durch die gegebenen Nachweisungen abschließen; die bereits im Art. Licht, Bd. IV. S. 526 angedeuteten, in neuester Zeit beobachteten Erscheinungen der **Fluorescenz** machen jedoch noch eine besondere Darlegung nöthig, die daher im Folgenden gegeben werden soll.

Das Wesen des mit dem Namen **Fluorescenz** belegten Phänomens wollen wir zunächst durch einige specielle Fälle der Beobachtung zu charakterisiren versuchen.

Nimmt man Rinde des Hockkastanienbaumes (*Aesculus Hippocastanum*) und thut diese in ein mit Wasser gefülltes Bierglas, so bemerkt man schon nach wenigen Minuten, wenn man unter einem spitzen Winkel mit dem einfallenden Lichte in das Wasser blickt, daß ein blaues Gewölke dasselbe durchzieht, während man im durchgelassenen Lichte nichts wahrnimmt. Nach etwa einer halben Stunde sieht

die Flüssigkeit im durchgelassenen Lichte gelblich aus, in der Richtung unter einem rechten Winkel zum einfallenden Lichte betrachtet zeigt sich aber wieder die blaue Färbung auf der Vorderseite. Bedeckt man die Vorderseite des Glases mit Papier und bringt in diesem etwa in der Mitte der Flüssigkeitshöhe ein Loch von etwa einem halben Zoll Durchmesser an, auf welches man dann das Sonnenlicht durch ein Brennglas concentrirt fallen läßt, so daß der Brennpunkt noch in der Flüssigkeit liegt, so steht man beim Hineinblicken in dieselbe von der Seite her einen blauen Regen. — Läßt man Licht in ein dunkles Zimmer, erzeugt in bekannter Weise auf einem weißen Schirme mittelst eines Prismas das Spectrum und hält nun ein mit dem Extracte der Rostkastanieurinde gefülltes Reagenzglas jenseits des äußersten Roth des Spectrum, so ist nichts Besonderes zu bemerken; führt man dann das Reagenzglas weiter in die Farbe des Spectrum hinein, so zeigt sich ebenfalls nichts, sondern die Flüssigkeit verhält sich, als ob sie Wasser wäre; erreicht man aber die violette Seite des Spectrum, so schiebt ein geisterhafter Schein von blauem Lichte quer durch die Flüssigkeit. Bei weiterer Bewegung der Röhre selbst über das Spectrum hinaus nimmt das blaue Licht erst an Intensität zu und verschwindet dann allmählig ganz, jedoch erst weit jenseits des violetten Endes des auf dem Schirme sichtbaren Spectrum. Anfangs erstreckt sich das blaue Licht durch das ganze Reagenzglas, vor dem Verschwinden ist dasselbe indessen nur auf eine äußerst dünne Schicht der Flüssigkeit an der Oberfläche derselben, durch welche das Licht einfällt, beschränkt. Das Reagenzglas erscheint also beim Eintauchen in die unsichtbaren Strahlen*) augenblicklich erleuchtet und es findet alsdann, so zu sagen, sichtbare Dunkelheit statt.

Ebenso merkwürdig sind folgende Versuche. Es giebt ein gelbes böhmisches Glas, welches im Handel unter dem Namen Kanarienglas oder Annagrünes Glas vorkommt und Uranglas ist. Im durchgelassenen Lichte hat dies Glas eine bläßgelbe Farbe. Läßt man im dunklen Zimmer einen Würfel solchen Glases von dem violetten Lichte bescheinen, welches das nahe zu luftleere sogenannte elektrische Ei in dem Ruhmkorff'schen Apparate entwickelt, so wird der Glaswürfel wie selbstleuchtend mit hellgelbem Lichte. — Läßt man Sonnenlicht horizontal durch eine kleine Linse reflectiren, die in einem Loche in einem senkrechten Brette befestigt ist, so erscheint der von diesem Lichte getroffene Würfel von Uranglas gelblichgrün leuchtend; wendet man hierbei eine verhältnißmäßig große Linse an, so ist das von dem Glaswürfel ausgehende Licht fast blendend. — Zerlegt man das von dem Uranglase ausgesendete Licht durch ein Prisma, so erhält man ein Spectrum aus fünf hellen Streifen von gleicher Breite und gleichem oder fast gleichem Abstände getrennt durch schmale dunkle Streifen. Der erste helle Streif ist roth, der zweite röthlichorange, der dritte gelblichgrün, der vierte und fünfte grün.

Zu der Untersuchung dieser merkwürdigen Erscheinungen, von denen im Vorstehenden nur eine vorläufige Idee gegeben werden sollte, gab eine Beobachtung John Herschel's Veranlassung, welche dieser an einer schwachen Lösung von schwefelsaurem Chinin und verschiedenen anderen Salzen dieses Alkaloids entdeckt hatte. Diese Flüssigkeit — schwefelsaures Chinin aufgelöst in der hundert- bis

*) Vergl. über die ultraviolethen unsichtbaren Strahlen Art. Wärme, Bd. VI. S. 638 und 761 und Licht, Bd. IV. S. 416.

zweihundertfachen Gewichtsmenge Wasser mit einem Zusaße von einigen Tropfen Schwefelsäure — erscheint farblos und durchsichtig wie Wasser, wenn man sie im durchgelassenen Lichte beschaut, zeigt aber bei einer gewissen Richtung des Auges zur Oberfläche eine eigenthümliche blaue Farbe. Bei Beleuchtung der Flüssigkeit durch ein Bündel gewöhnlichen Tageslichts erblickte Herschel die blaue Farbe nur innerhalb einer sehr dünnen Schicht — etwa bis zu einer Dicke von 0,02 Zoll — unter der Oberfläche, durch welche das Licht eintrat. Das einfallende Bündel war nach dem Durchgange durch die Schicht, aus welcher das blaue Licht herkam, nicht merklich geschwächt oder gefärbt, hatte aber die Fähigkeit verloren, bei Einlassung in eine zweite Lösung von schwefelsaurem Chinin jene blaue Farbe zu erzeugen. Das Licht war unpolarisirt und ging ungehindert durch viele Zoll der Flüssigkeit. Ein in dieser geheimnißvollen Weise modificirtes Lichtbündel nannte J. Herschel *epipolisirt*, indem er damit aussprechen wollte, daß die Erscheinung von einer eigenthümlichen Beschaffenheit der Oberfläche herrühre, daß die Färbung eine oberflächliche sei. Das Charakteristische eines *epipolisirten* Lichtbündels bestand nach ihm darin, daß es nach dem Durchgange durch eine Chininlösung die Fähigkeit, ferner eine *epipolische* Dispersion zu erleiden, verloren hatte*).

Mehrere Jahre früher hatte David Brewster an der alkoholischen Lösung des grünen Farbstoffs der Blätter des gewöhnlichen Lorbeers eine mit Herschel's Beobachtung in gewissem Zusammenhange stehende merkwürdige Erscheinung entdeckt, welche er *innere Dispersion* nannte. Bei Hineinleitung eines durch eine Linse verdichteten Bündels von Sonnenlicht in diese Flüssigkeit fand er zu seinem Erstaunen die Bahn des Lichts innerhalb der Flüssigkeit durch ein helles Licht von blutrother Farbe bezeichnet, die gegen das schöne Grün der in mäßiger Dicke gesehenen Flüssigkeit auffallend abstach. Späterhin beobachtete Brewster dieselbe Erscheinung an verschiedenen pflanzlichen Lösungen, an wesentlichen Oelen und an einigen starren Körpern. Er glaubte sie rühre her von farbigen Theilen, die in Schwebe gehalten würden. Allein es war ein Umstand mit dieser Erscheinung verknüpft, welcher eine Erklärung nach dieser Voraussetzung sehr schwierig zu machen schien, nämlich daß das dispergirte Bündel ganz oder größtentheils unpolarisirt war, während ein von schwebenden Theilchen reflectirtes Bündel als polarisirt durch Reflection zu erwarten stand. Und das war in der That der Fall mit denjenigen Bündeln, welche unzweifelhaft nur von schwebenden Theilchen herrührten. Aus der allgemeinen Identität der näheren Umstände, unter welchen Herschel und er selbst beobachtet hatte, wurde Brewster zu dem Schlusse geführt, daß das *epipolische* Phänomen nur ein besonderer Fall der *inneren Dispersion* sei, eigenthümlich nur insofern, als dabei die der Dispersion fähigen Strahlen mit ungewöhnlicher Schnelligkeit dispergirt würden. Allein was für Strahlen es seien, welche auf die Lösung des schwefelsauren Chinins zu wirken vermögen, — warum die wirksamen Strahlen so schnell verbraucht werden, während die von ihnen erzeugten dispergirten Strahlen so frei die Flüssigkeit durchdringen, — warum das durchgelassene Licht bei einer prismatischen Zer-

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXVII. S. 480 und Ergänzungsband IV. (XC. b) S. 177. Die letztere Abhandlung ist die bedeutendste in Betreff der Fluorescenz und verweisen wir hier gleich an dieser Stelle auf dieselbe, ohne sie im Folgenden immer anzuführen.

legung keinen Mangel in denjenigen Regionen zeigt, welchen die dispergirten Strahlen in Bezug auf Brechbarkeit hauptsächlich angehören, — das waren Fragen, auf welche die Antwort geheimnißvoller als jemals blieb *).

Die in Rede stehenden Erscheinungen zogen namentlich die Aufmerksamkeit des Prof. der Mathematik an der Universität zu Cambridge George G. Stokes auf sich. Ihm haben wir im Jahre 1852 die nähere Untersuchung vorzugsweise zu danken, und somit erscheint er auch als der Schöpfer der Lehre von der Fluorescenz, welche Bezeichnung ebenfalls von ihm herrührt **). Der Ausdruck innere Dispersion, welchen D. Brewster gebrauchte, paßt auf die Erscheinung nicht, da diese sich auch bei getränkten Papieren und gefärbten Zeugen zeigt, überdies damit auf eine nicht haltbare Theorie, nämlich auf die von suspendirten Theilchen, hingewiesen wird. Es scheint hierbei eine Verwechselung der Erscheinung mit Opalescenz stattgefunden zu haben. Insofern das fluorescirende Licht nach Art selbstleuchtender Körper ausgesandt wird, hatte man wohl auch hierbei an Phosphorescenz gedacht; es zeigte sich jedoch ein wesentlicher Unterschied von dieser, indem bei der Fluorescenz das Leuchten nur statt hat, so lange der Körper unter dem Einflusse activer Strahlen steht. Denkbar ist freilich, daß durch fernere Versuche ein stetiger Uebergang von der einen Erscheinung in die andere nachgewiesen werde, allein bis jetzt ist ein solcher Uebergang noch nicht gefunden worden, auch ist es noch keineswegs ausgemacht, daß die Erscheinungen nicht radical verschieden seien. Unter solchen Umständen verdient es jedenfalls Billigung, wenn man das räthselhafte Phänomen mit einem Namen bezeichnete, welcher keine Nebengedanken theoretischer Art ausdrängte, und so war es von Stokes ein glücklicher Gedanke, die Erscheinung — in ähnlicher Weise wie Opalescenz von Opal hergeleitet ist — Fluorescenz von Flußspath zu benennen, da gewisse Arten dieses Minerals dieselbe zeigten.

Nachdem das Eigenthümliche der Fluorescenz erkannt war, kam es darauf an, die Erscheinung unter verschiedenen Modificationen zu verfolgen, um das Wesen derselben noch tiefer zu ergründen, ferner die Stoffe zu ermitteln, an welchen sonst noch die Erscheinung auftritt, und endlich zu versuchen, wie dieselbe mit den theoretischen Ansichten über das Wesen des Lichtes in Einklang gebracht werden könne.

Der erste Versuch, welchen Stokes anstellte, war folgender. Ein Reagenzglas wurde zur Hälfte gefüllt mit einer Lösung von saurem schwefelsaurem Chinin, wie sie oben angegeben ist. Das Glas, zuvor bekleidet mit schwarzem Papier mit einem zum Einlaß des Lichtes bestimmten Loch, wurde senkrecht vor einem Fenster aufgestellt und das Loch gegen das Licht gedreht. Wenn nun Stokes, in fast paralleler Richtung mit der Oberfläche des Glases, von oben hineinsah, erblickte er deutlich einen blauen Bogen, der sich nur wenig in die Flüssigkeit erstreckte und dicht hinter dem Loch lag. Als er ein blaß rauchfarbened Glas dicht vor das Loch stellte, verhinderte es die Bildung des blauen Bogens, aber dicht vor das Auge gehalten ließ es einen großen Antheil des Lichts, aus welchem der blaue Bogen bestand, durch. Die Farbe des Bogens war mehr weißlich. — Wurde ein blaß strohfarbened Glas vor das Loch gestellt, so ließ dies den

*) Pogg. Ann. a. a. D. und Bd. LXXIII. S. 531.

**) Ebenda a. a. D. S. 208 und Bd. XCVI. S. 526.

Bogen sehen, aber vor das Auge gehalten absorbirte es diesen. — Ein gelbes und ebenso ein gelblich grünes Glas ließ den Bogen in beiden Stellungen sehen; jedoch war die Farbe desselben in der einen Stellung anders als in der anderen. — Außerdem ward die Breite des Bogens von verschiedenen vor das Loch gestellten farbigen Gläsern verschiedentlich abgeändert; einige bewirkten, daß das Licht mehr, und andere, daß es weniger gegen die Glasfläche concentrirt war, als bei ungehindertem Einfall des Lichts.

Hierauf ließ Stokes das Licht horizontal in ein dunkles Zimmer durch ein Loch im verticalen Fensterladen reflectiren. Das Loch enthielt eine Linse von etwas kurzer Brennweite. Als er das Probeglas mit der Lösung vertical vor der Linse aufstellte in solchem Abstände vor ihr, daß der Brennpunkt etwas innseits der Flüssigkeit fiel, sah er unabhängig von einander die blaue Schicht, welche J. Herschel beobachtet hatte, und außerdem ein kegelförmiges blaues Bündel, welches sich in die Flüssigkeit hinein erstreckte, wie Brewster bereits beobachtet hatte. Bei Anwendung verschiedener farbiger Gläser, die erst vor die Flüssigkeit und dann vor das Auge gestellt wurden, fand sich, daß das blaue Bündel, wie früher die schmale blaue Schicht, meistens verschiedenartig afficirt wurde, je nachdem das Glas so gestellt war, daß es das einfallende oder das fluorescirende Licht auffangen mußte. Ueberdies verhielten sich das lange blaue Bündel und die schmale blaue Schicht nicht gleich.

Nach diesem Versuche machte Stokes folgenden, schon oben angedeuteten, ihn im höchsten Grade überraschenden, indem das unsichtbare Licht jenseits des Violett im Spectrum sichtbar wurde. Das Brett im Fenster, welches die Linse enthielt, wurde ersetzt durch ein Paar Bretter, welche einen senkrechten Schlig bildeten; durch diesen Schlig wurde das Sonnenlicht horizontal reflectirt und auf drei dicht hinter einander aufgestellte Münchener Prismen geleitet. So wurde im Abstand von einigen Fuß hinter dem Schlige ein mäßig reines Spectrum erhalten. Ein Reagenzglas mit der Lösung wurde nun jenseits des äußersten Roths des Spectrums senkrecht aufgestellt und hernach horizontal durch die Farben geführt. Hier zeigte sich nun die bereits oben angegebene wunderbare Erscheinung.

Stokes stellte hierauf noch eine Analyse des fluorescirenden Lichtes an. Er reflectirte Sonnenlicht horizontal durch einen Schlig, hinter welchem ein mit Wasser gefülltes Trinkglas gestellt war; vor dasselbe brachte er ein tief blaues Glas und betrachtete dann den Schlig durch ein Prisma. Er sah hier soweit wie gewöhnlich ins Violett. Nun wurde das Wasser ausgegossen und durch eine Lösung von schwefelsaurem Chinin ersetzt, welche bei Betrachtung im durchgelassenen Lichte so klar wie das Wasser erschien. Als er nun das Trinkglas hinter den Schlig stellte, fand er, daß der blaue fluorescirende Lichtstreifen sich ganz quer durch dasselbe ausdehnte, eine Strecke von etwa drei Zoll. Bei Betrachtung des Schliges durch ein Prisma zeigte sich das Spectrum auf halbem Wege zwischen den festen Fraunhofer'schen Linien G und H fortgeschritten und das Ende war ziemlich scharf begrenzt.

Diese Versuche von Stokes kann man recht eigentlich die Fundamentalversuche der Fluorescenz nennen. Zunächst zeigen sie die Fluorescenz im hellen Tageslichte und directem Sonnenlichte, zweitens das Verhalten fluorescirender Körper gegen farbiges Licht, drittens das Verhalten derselben im prismatischen Spectrum und viertens den Erfolg einer prismatischen Analyse der

Fluoreszenzfarben. Es war nun das Phänomen in diesen und in anderen Flüssigkeiten, welche sich in der Folge herausstellen mußten, näher zu untersuchen.

Was zunächst die Lichtquelle anbelangt, die Fluoreszenz erzeugend wirkt, so hat man neben dem directen Sonnenlichte und dem hellen Tageslichte bereits noch manche andere wirksam gefunden. Die Ergebnisse sind in der Kürze folgende.

Das directe Sonnenlicht läßt man durch eine Oeffnung in ein dunkles Zimmer reflectiren und entweder unmittelbar oder nach dem Durchgange durch eine Linse auf die fluorescirende Substanz wirken.

Das zerstreute Tageslicht läßt man ohne weitere Vorrichtung durch eine Spalte in ein dunkles Zimmer fallen; hält man z. B. ein mit dem wässerigen Extracte der Kastanienrinde gefülltes Reagenzglas oder Bierglas hinter die Spalte und betrachtet die Flüssigkeit rechtwinklig zur Spalte, so sieht man sehr deutlich die blaue Fluoreszenz, namentlich wenn man das Glas nicht genau vor die Mitte der Spalte, sondern dem Rande näher hält, welcher von dem Beobachter der entferntere ist, so daß das Glas einen mehr dunklen Hintergrund erhält. Selbst bei trübem und regnigem Wetter wird das Phänomen sichtbar.

Nach Stokes (a. a. O. S. 304) ist Kerzenlicht wenig für Fluoreszenz geeignet, ebenso die Flamme einer Campherlampe, besser war die auf Holz oder Holzkohle brennende Salpeterflamme, noch besser die Flamme des aufblühenden Pulvers. Eine starke Kraft entwickelte die so schwach leuchtende Flamme einer Weingeistlampe, wobei es am vortheilhaftesten ist, die zu untersuchende Lösung in ein offenes Gefäß, z. B. ein Weinglas oder einen Becher zu gießen, die Flamme dicht darüber zu halten und das Auge in oder sehr wenig unter die Ebene der Oberfläche zu stellen. Die Naphtalamme giebt beinahe dieselbe Wirkung wie die Alkoholflamme, die Aetherflamme ist jedoch nicht so gut, dagegen wirkt die Wasserstoffflamme sehr stark. Ebenso ist die Flamme des Schwefelkohlenstoffs bei den meisten Substanzen noch wirksamer, als die des Alkohols. Mit Lampenlicht erhielt der Fürst von Salm-Horstmar*) Fluoreszenz, wenn er es mit einer Linse concentrirte, sowohl in Curcumäinctur, als auch in dem Kastanienrindeabsud; in der sauren schwefelsauren Chininlösung aber und in Blattgrüntinctur, die man am besten erhält, wenn man Brennesselblätter erst mit Wasser abkocht und dann nachdem sie durch Pressen zwischen Fliesspapier theilweise getrocknet worden, kalt mit Alkohol behandelt, oder auch, indem man andere grüne Blätter, z. B. von Epheu mit Aether extrahirt oder in gelinder Wärme mit Alkohol digerirt, war die Fluoreszenz so stark, daß es gar keiner Concentration durch die Linse bedurfte. Die Fluoreszenz der Blattgrüntinctur — im durchgelassenen Lichte schön smaragdgrün, aber blutroth fluorescirend — bemerkte er nicht nur in Richtungen, die mehr rechtwinklig zum einfallenden Strahle sind, sondern selbst dann noch entschieden, wenn man das mit der Lösung gefüllte Reagenzglas so hält, daß die Flamme einer Lampe beinahe zwischen dem Glase und dem Auge des Beobachters sich befand. Es zeigte sich dies selbst dann, als die hintere Fläche des Glases durch ein in die Flüssigkeit gebrachtes Stückchen schwarzen Sammetes bedeckt war, so daß sie keinen Reflex

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 175; Bd. XCIV. S. 467.

geben konnte. Das rothe Licht strahlt also auch in der dem einfallenden entgegengesetzten Richtung.

Nach Faraday's Wahrnehmung zeigt die Flamme des in Sauerstoff brennenden Schwefels außerordentlich gut *). Schriftzüge, geschrieben auf weißes Papier mit Chininlösung, Absud von Koffkastanienrinde oder alkoholischer Tinctur von Stechapfelsaamen, werden bei Beleuchtung mit dem Lichte dieser Flamme sogleich sichtbar, besonders wenn es zuvor durch ein blaues Glas gegangen ist, während sie im Gaslichte nicht gesehen werden. Die Schriftzüge bleiben auch sichtbar, wenn man sie durch ein Glas betrachtet, welches eine dünne Schicht einer sehr schwachen Lösung von chromsaurem Kali enthält; schaltet man aber dasselbe Glas zwischen die Schwefelflamme und das Papier ein, so verschwinden sie.

Die starke photographische Wirkung der Flamme des mit Stickoxydgas verbrennenden Schwefelkohlendampfes veranlaßte J. Müller und v. Babo **) die fluorescirende Wirkung des von jener Flamme ausgehenden Lichtes zu untersuchen. Die Versuche übertrafen alle Erwartungen. Bei Chininlösung, Blattgrünlösung aus Epheu, verschiedenen Varietäten von Flußspath, besonders bei Uranglas zeigte sich das Phänomen sehr schön.

Die fluorescirende Wirkung des elektrischen Lichtes hat namentlich Osann studirt ***). Hier hat man den elektrischen Funken und die Lichtausstrahlungen, welche dadurch entstehen, daß die Körper, durch welche die Elektricität sich hindurch bewegt, glühend werden, zu unterscheiden. Osann untersuchte namentlich die Wirkung der Funken, welche der Inductionsapparat mit der Neeff'schen Vorrichtung hervorbringt. Er verband den Inductionsapparat dergestalt mit einem Elektromotor, daß der das Blech berührende Draht die negative Elektrode bildet. Ist der Apparat im Gange, so beobachtet man dann ein blaues Licht, welches wie ein Mantel sich um die Oberfläche des Drahtes legt. Er erhielt nun Fluorescenz in der Chininlösung, dem Absud der Koffkastanienrinde, dem Extracte des Stechapfelsaamens, der Curcumatinctur und Lacmustrinctur, wenn er mit ihnen ein Reagenzglas bis zu einer gewissen Höhe füllte, dies dann in der Höhe der Flüssigkeit gegen das elektrische Licht hielt und von oben in das Gläschen sah. An Blattgrünlösung konnte keine Fluorescenz wahrgenommen werden. — Nach Stokes ****) wirkt ein elektrischer Funke bei einer äußerst verdünnten Lösung von schwefelsaurem Chinin in sehr auffallendem Maße fluorescenzzeugend. Die Lösung war so schwach, daß bei Untersuchung mittelst des Lichtes einer Weingeistflamme durch oberflächliche Projection nichts zu sehen war, als ein schwacher Lichtschimmer, welcher eine gute Strecke in die Flüssigkeit hineinging; sie wurde so gestellt, daß sie von den Funken, die in nicht großem Abstände über der Oberfläche aus dem Conductor einer Elektrisirmaschine überschlugen, beleuchtet ward. Es entstand eine sehr bemerkliche Fluorescenz im Innern der Flüssigkeit; allein die Natur des Effects hing in zu großem Maße von dem Charakter des Funkens ab. Ein schwach verästelter Funke, der nur wenig Licht gab und wenig Geräusch machte,

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 627.

**) Ebenda Bd. XCVII. S. 508; chemisches Centralbl. 1856. S. 354.

***) Pogg. Ann. Bd. XCVII. S. 329.

****) A. a. D. S. 316.

erzeugte eine Beleuchtung, die sich zu einer bedeutenden Tiefe erstreckte, und sehr viel stärker war als die, welche eine Weingeistflamme in derselben Lösung hervorbrachte. Die Strahlen, welche dies bewirkten, gingen in großem Maße durch eine Glasplatte, die zwischen die Funken und die Oberfläche der Flüssigkeit eingeschoben ward. Allein ein heller linearer Funken, der ein scharfes Knacken machte, bewirkte eine Beleuchtung, die fast auf eine äußerst dünne, dicht an der Oberfläche der Flüssigkeit liegende Schicht beschränkt war; und die Strahlen, welche diese Wirkung zeigten, wurden vom Glase aufgefangen, obwohl vom Quarze durchgelassen. Dasselbe war der Fall bei der Entladung einer Leydner Flasche; sie erzeugte ein helles, fast auf die Oberfläche beschränktes Licht. Später *) stellte sich zwar der Unterschied im Charakter eines starken und eines schwachen Funkens aus dem Conductor nicht so entschieden heraus, vielleicht weil die Wirksamkeit der Maschine nicht so bedeutend war; allein der Unterschied zwischen den Effecten eines bloßen Funkens und der Entladung einer Leydner Flasche war ganz deutlich. Bei einem schweren Gewitter beobachtete Stokes auch die Wirkung der Blitze auf eine Chininlösung und andere empfindliche Media. Die Fluorescenz war sehr bedeutend. Zwischen den Effecten eines schwachen Blitzes in der Ferne und eines hellen Blitzes nahe im Zenith ließ sich ein ähnlicher charakteristischer Unterschied wahrnehmen, wie er in Bezug auf die Wirkungen eines Funkens aus der Maschine und der Entladung einer Leydner Flasche vorher angegeben worden ist. Für die fluorescirende Wirkung des elektrischen Funkens sprechen auch die Versuche von Stokes mit dem Lichtbogen, den die mächtige Batterie der Royal Institution zwischen Metallspitzen erzeugte, und ebenso die starke Entladung einer Leydner Flasche **). Auch W. Eisenlohr's Versuche mit dem violetten Lichte im sogenannten elektrischen Eie gehören hierher ***). Wie ich selbst gesehen habe, fluorescirt Kanarienglas im Lichte des Ruhmkorff'schen Apparates ganz prächtig. — Mit einem durch den elektrischen Strom glühend gemachten Platindrahte erhielt Osann ****) bei keiner der oben genannten Flüssigkeiten eine Fluorescenz.

Ueber die Vorzüge, welche Sonnenlicht bei Untersuchung der Fluorescenz bietet, verweisen wir auf Stokes *****). Man kann durch Concentration der Strahlen ungemein schwache Empfindlichkeitsgrade entdecken; namentlich aber setzen Sonnenlicht-Beobachtungen in den Stand, die Vertheilung der Thätigkeit des einfallenden Spectrums zu ermitteln.

Es schließen sich an diese Untersuchungen diejenigen an, durch welche die fluorescirende Wirkung des Lichtes ermittelt werden sollte, welches durch färbende Mittel gegangen war, und ebenso diejenigen, welche das Verhalten des Fluorescenzlichtes zu solchen betreffen.

Stokes wendete hierbei zuerst folgende Beobachtungsmethode an †).

*) A. a. D. S. 343.

**) Ebenda Bd. LXXXIX. S. 628.

***) Ebenda Bd. XCIII. S. 623.

****) Ebenda Bd. XCVII. S. 329.

*****) Ebenda Bd. XCVI. S. 538 -- 540.

†) A. a. D. S. 188.

Sonnenlicht wurde horizontal durch eine kleine Linse reflectirt, die in einem Loche in einem senkrechten Brette befestigt war. Von da ging der ausfallende Strahlenkegel in den zu untersuchenden starren oder flüssigen Körper. Dann wurde ein farbiges Glas oder ein anderes absorbirendes Medium so gestellt, daß es erst die einfallenden Strahlen auffing, und darauf zwischen der untersuchten Substanz und dem Auge war. Zuweilen wurde ein farbiges Glas vor dem Loche gelassen und ein zweites erst vor dem Loche und dann vor dem Auge hinzugefügt. — Später gab Stokes noch eine Methode an*), welche sich wegen ihrer Leichtigkeit, wegen der Wohlfeilheit des erforderlichen Apparates und vor allem, weil sie den Beobachter unabhängig von der Witterung macht, besonders empfiehlt.

Im Fensterladen eines verdunkelten Zimmers ist zur Einführung des Lichts ein Loch von mehreren Zollen im Durchmesser ausgeschnitten und dicht darunter ein kleines, oben gewölktes Sims (Brett) am Fensterladen befestigt, welches als Träger der zu untersuchenden Gegenstände und der absorbirenden Mittel dient. Diese Einrichtung nebst einigen farbigen Gläsern bildet den ganzen Apparat, nur ein weißes Porcellanäpfelchen, ein gewöhnliches Prisma und einige Gefäße zur Aufnahme von Flüssigkeiten sind noch wünschenswerth für besondere Fälle. — Bei der Beobachtung stellt man das erste absorbirende Medium (Hauptabsorbens) auf den Sims, so daß es das Loch bedeckt; auch den Gegenstand stellt man auf den Sims dicht hinter das Loch und hält das zweite absorbirende Medium (complementäre Absorbens) irgend wo zwischen Gegenstand und Auge**). Erscheint bei dieser Beobachtungsmethode der Gegenstand ungewöhnlich leuchtend, so rührt dies — aller Wahrscheinlichkeit nach — von Fluorescenz her. Um zu ermitteln, ob das Leuchten wirklich von dieser Ursache herkomme, ist es gemeinlich hinreichend, das complementäre Absorbens vor dem Auge fortzunehmen und vor das Loch zu halten, wo dann das Leuchten, wenn es wirklich von Fluorescenz herrührt, fast ganz verschwindet; wogegen, wenn es von gewöhnlich gestreutem Lichte, welches durch beide Medien zu gehen vermag, herrührt, nothwendig so bleibt, wie es zuvor war. Bei Gegenständen, die nur schwach fluorescirend sind, ist es zuweilen besser, das zweite Medium an seinem Orte zu lassen und ein drittes zu gebrauchen — Uebertragmedium —, und abwechselnd in die Bahn der auf das Object einfallenden und der von diesem ins Auge gelangenden Strahlen zu stellen. Das Uebertragmedium kann von gleicher Art mit dem zweiten sein, nur blässer.

Außer dem Leuchten liefert die Farbenveränderung und die Verschiedenheit der Farben, mit welchen der Gegenstand erscheint, je nachdem das Uebertragmedium oder das als Uebertragmedium gebrauchte complementäre Absorbens vor den Augen oder vor dem Loche gehalten wird, in den meisten Fällen ein leichtes Mittel, die Fluorescenz zu entdecken.

*) Ebenda Bd. XCVI. S. 522; vergl. Bd. XCI. S. 458.

**) Das Hauptabsorbens ist so zu wählen, daß es die schwach leuchtenden Strahlen von hoher Brechbarkeit, so wie die unsichtbaren noch stärker brechbaren Strahlen möglichst durchläßt, dagegen die Strahlen vom größeren Theil des sichtbaren Spectrums möglichst auffängt; das complementäre Absorbens hingegen muß für die Strahlen, welche das erste Medium auffängt, möglichst durchgänglich und für die Strahlen, welche jenes durchläßt möglichst opal sein. Gut gewählte Media erzeugen zusammen eine sehr starke Annäherung zur vollkommenen Dunkelheit.

Statt sich auf das absolute Ansehen der Substanz zu verlassen, ist es indgemein besser, sie mit einer als normal angenommenen zu vergleichen. Diese Normalsubstanz muß von der Art sein, daß sie sichtbare Strahlen von allen Brechbarkeiten leicht zerstreut, dagegen keinen merklichen Grad von Fluorescenz besitzt. Hierzu erweist sich eine weiße Porcellantafel am zweckmäßigsten, auf welche man den zu untersuchenden Gegenstand legt, anstatt ihn unmittelbar auf das geschwärzte Brett zu bringen.

Eine andere Beobachtungsweise besteht darin, ein Prisma mit dem Hauptabsorbens anzuwenden. Man legt das weiße Täfelchen auf den Sims, auf dieses den zu untersuchenden Gegenstand; dann hält man einen Schlit in solcher Lage, daß er theils auf den Gegenstand, theils auf das Täfelchen projectirt gesehen wird, und betrachtet den Schlit durch ein Prisma. Die etwaige Fluorescenz erweist sich alsdann dadurch, daß in Gegenden des Spektrums, in welchen, falls das durch das Hauptabsorbens durchgedrungene Licht von dem Täfelchen zerstreut wird, nichts als Dunkelheit ist, Licht zum Vorschein kommt.

Als Hauptabsorbens wendet man Glasischeiben an, z. B. durch Mangan und etwas Kobalt tief violett gefärbtes Glas oder auch durch Mangan allein tief gefärbtes Glas, combinirt entweder mit einem etwas bläulichblauen Kobaltglase oder mit einem etwas dunkler blauen Glase, falls das Wetter hell ist, oder die blaue Lösung von schwefelsaurem Kupferoxydammoniak in einer sehr breiten flachen Glasflasche oder in einem schmalen Behälter, dessen beide breiten Seitenflächen parallele Glasischeiben sind. Der Boden des Behälters und die schmalen Seitenflächen sind von Messingblech und die Glasischeiben werden bei wässrigen Flüssigkeiten mit Schellack, bei alkoholischen oder ätherischen Lösungen mit Hausenblase eingekittet. — Nebenstehende Zeichnung veranschaulicht einen solchen Behälter. — Als complementäres Absorbens nimmt man in den angeführten Fällen ein gelbes Glas gefärbt durch Silber und schwach gebrannt.



Als Hauptabsorbens wendete Stokes auch an eine Lösung von salpetersaurem Kupferoxyd und als complementäres Absorbens ein lichtrothes oder tieforangenes Glas. Ein gelbes Absorbens liefert eine Lösung von chromsaurem Kali, ein grünes die von Chlorkupfer, ein orangefarbiges die von zweifach-chromsaurem Kali.

Die zuletzt angegebene Methode ist so empfindlich, daß Stokes sogar an einem ungewöhnlich trüben Tage die Fluorescenz des weißen Papiers durch dieselbe aufzufinden im Stande war.

Um derartige Versuche ohne dunkles Zimmer anzustellen, kann man sich auch eines Kästchens von blauem Kobaltglase oder von dunkel violetter Manganglase bedienen, in welches man den zu untersuchenden Gegenstand bringt; doch muß man sich dann vor Contrastfarben hüten und diese nicht für Fluorescenz nehmen, wie es von Salm-Horstmar in einem Falle gegangen ist^{*)}. Sicherer ist immer, wenn man Lösungen ohne dunkles Zimmer untersuchen will, diese in ein Reagenzglas zu thun, dies in eine enge undurchsichtige, unten verschlossene Gölle

^{*)} Pogg. Ann. Bd. XC VII. S. 638; vergl. C III. S. 652.

zu stecken und eine Oeffnung in denselben anzubringen, welche man durch ein blaues Kobaltglaskästchen verschließt, auf und durch welches man das Licht horizontal einfallen läßt. Die Construction eines Fluoreszenzkästchens hat Osann angegeben *).

Von den nach den vorstehenden Untersuchungsmethoden gewonnenen Resultaten theilen wir einige der hauptsächlichsten nachstehend mit.

Unterwirft man einen Würfel von Kanarienglas der Untersuchung und läßt das Licht, ehe es auf die concentrirende Linse und auf den Würfel fällt, durch die grüne Lösung von Chlorkupfer gehen, so ist von Fluoreszenz nichts wahrzunehmen, wohl aber zeigt sich dieselbe ebenso deutlich wie ohne absorbirendes Mittel, wenn man den fluorescirenden Würfel durch dieselbe Lösung betrachtet; stellt man den Versuch mit der blauen Lösung von schwefelsaurem Kupferorydammmoniak an, so ist der Erfolg gerade umgekehrt, wenn gleich die Fluoreszenz nicht ganz gehemmt wird. Es verhält sich mithin die Fluoreszenzfarbe anders als die gewöhnliche Körperfarbe, bei der kein solcher Unterschied sich herausstellt, sondern die in beiden Fällen dieselbe bleibt, wiewohl eine Veränderung derselben je nach der Farbe des absorbirenden Mittels eintritt. — Die bereits angeführten ersten Versuche von Stokes mit Gläsern von blasser Farbe gehören hierher. — Ließ er das einfallende Licht durch ein sehr tief blaues Kobaltglas auf die Lösung von schwefelsaurem Chinin fallen, so zeigte sich nur eine sehr geringe Fluoreszenz; hielt er es aber vor das Auge, so verschwand anfangs Alles, bis auf das von den Convexitäten der Glasröhre reflectirte Licht; hatte sich jedoch das Auge erst an die Dunkelheit gewöhnt, so war es möglich den Fluoreszenzstreifen zu erkennen. So verschwindet auch die Fluoreszenz der Chininlösung, wenn das Licht durch die gelbe Lösung von chromsaurem Kali oder die grüne von Chlorkupfer geht; ist aber sichtbar, sobald man durch diese Mittel hindurchblickt. — Bei der Blattgrünlösung ist die Fluoreszenz sichtbar, wenn das Licht durch schwefelsaures Kupferorydammmoniak einfällt; verschwindet aber, wenn man sie dadurch betrachtet. — Ebenso verhält sich gegen dieses Absorbens Stechapfelsamentinctur, nur daß die Fluoreszenz nicht ganz beim Durchsehen verschwindet; umgekehrt ist es bei dieser fluorescirenden Lösung gegen chromsaures Kali und gegen Chlorkupfer als Absorbens. Läßt man durch diese Mittel das Licht einfallen, so verschwindet bei dem ersten die Fluoreszenz beinahe ganz, bei dem zweiten völlig, während beim Durchsehen keine Störung eintritt. — Curcumatinctur verhält sich gegen schwefelsaures Kupferorydammmoniak wie Blattgrün, gegen rothes Glas aber umgekehrt.

Das Verhalten fluorescirender Körper im prismatischen Spectrum, wenn nämlich der fluorescirende Körper an die Stelle des sonst gewöhnlichen Schirmes gebracht und durch die Spectralfarben geführt wird, ist bereits oben charakterisirt und der Versuch in seinen Hauptzügen angegeben worden. Es sei hier nur noch bemerkt, daß Prismen aus Quarz ebenso den Vorzug vor Glasprismen verdienen, wie Quarzlinfen vor Glaslinfen **).

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVI. S. 78.

**) Ebenda Bd. LXXX. S. 628.

Von den Resultaten heben wir einige besonders hervor. Chininlösung zerstreut das Licht erst im Blau zwischen den Fraunhofer'schen Linien G und H beginnend; die dunklen Streifen erscheinen sehr deutlich und auch über H hinaus tritt eine Menge dunkler Linien auf, die man sonst nicht im Spectrum wahrnimmt. — Bei dem Kastanienrinde-Extract beginnt die Fluorescenz zwischen F und G; bei Stechapfelsamentinctur schon bei F; bei Blattgrünlösung bereits zwischen B und C, so daß statt des Spectrums nur ein weit über H hinausgehender rother Streifen entsteht. — Auch gefärbte Papiere zeigen ein gleiches Verhalten, z. B. das mit Curcumäinctur gefärbte Papier zeigt in schmutzig grüner Farbe die Fluorescenz ungefähr bei F zc.

Von den Linien, welche jenseits H noch im Spectrum auftreten, hat Stokes eine Abbildung gegeben. Es findet sich dieselbe in Poggenorff's Annalen, Ergänzungsband IV. auf Taf. I. als Fig. 1, worauf wir hier verweisen, so wie auf die Erläuterung derselben in demselben Bande S. 198 ff.

Die prismatische Zerlegung der Fluorescenzfarben ist bereits oben im Allgemeinen charakterisirt worden. Hier bemerken wir im Speciellen noch Folgendes. — Zunächst machen wir darauf aufmerksam, daß ein horizontales Spectrum, welches auf einem Schirme aufgefangen ist, durch ein mit seiner brechenden Kante horizontal gehaltenes Prisma betrachtet nicht mehr an derselben Stelle und auch nicht mehr horizontal erscheint, weil die Spectralfarben je nach dem verschiedenen Grade ihrer Brechbarkeit verschieden abgelenkt werden, so daß mithin das violette Ende am meisten aus seiner ursprünglichen Lage gerückt erscheint. Fängt man nun das erste Spectrum mit Papier auf, welches mit Curcumäinctur gefärbt ist, und betrachtet dasselbe durch ein zweites Prisma in der eben angegebenen Weise, so erblickt man nicht das einfache vorher besonders hervorgehobene, schräge Spectrum, sondern es erscheint ein Doppelbild in der Weise, daß, wenn xy in bestehender Figur das primäre Spectrum vorstellt, wie es mit bloßem Auge gesehen wird, ein Spectrum RV und eine zweite Spectralparthie



ST sichtbar wird. Das Spectrum RV nennt Stokes das primitive, das andere ST das derivirte. Diese merkwürdige Erscheinung spricht entschieden dafür, daß die grünliche Färbung des Curcumäipapiers, die wir als dessen Fluorescenzfarbe im prismatischen Spectrum kennen gelernt haben, keine homogene Farbe

ist. Papiere mit einer ziemlich starken Lösung von schwefelsaurem Chinin oder mit dem Auszuge von Stechapfelsaamen getränkt zeigten die Erscheinung unter den mit empfindlichen Substanzen behandelten Papieren besonders gut. Mit Lösungen tritt das Phänomen ebenfalls ein, aber Papiere sind bequemer. Das derivirte Spectrum liegt immer an einer und derselben Seite des primitiven und zwar ist es weniger gebrochen.

Am zweckmäßigsten hat sich Stokes (a. a. O. S. 258) bei diesen Untersuchungen eine Methode ergeben, welche er die des linearen Spectrum nennt. Das Licht wird durch einen Schlit in das dunkle Zimmer eingelassen, welcher aber nicht vertical, sondern horizontal liegt und zwar in der Refractionsebene. Entsprechend einem Lichte von gegebener Brechbarkeit wird das Bild des Schlitzes, welches nach der Brechung durch die Prismen und die Linse entsteht, nun ein schmales Parallelogramm sein. Der hierdurch gewonnene Vortheil — im Vergleich zu einem verticalen Schlitz — ist eine größere Helligkeit, weil bei gleich großem Schlitz die Länge des Spectrum dieselbe bleibt, aber die Breite abgenommen hat. Außerdem wird das derivirte Spectrum viel reiner. — Bei Untersuchung von Substanzen, die nur wenig empfindlich sind, ist es oft sehr vortheilhaft, den Schlitz mit einem blauen Glase zu bedecken.

In der Zeichnung stellt die Richtung der Schattirung in R V die Zusammensetzung dieses Spectrum vor, welches als aus einer unendlichen Zahl von Bildern des Schlitzes in schiefer Lage, geordnet nach ihrer Brechbarkeit, bestehend betrachtet werden kann. Die Richtung der Schattirung in S T ist die der Linien gleicher Farbe und gleicher Brechbarkeit. Die Fraunhofer'schen Linien sind auch in dem derivirten Spectrum sichtbar, durchsetzen aber alle Farben. Bei verschiedenen Fluorescenzfarben ist das Verhältniß der Bestandtheile des derivirten Spectrum selbstredend ein verschiedenes; bei Chininlösung herrscht z. B. das Blau vor und das rothe Ende verschwindet fast gänzlich. Enthält das der Untersuchung zu Grunde liegende Papier nur wenig unmodificirtes Licht, so ist das primitive Spectrum kaum wahrzunehmen.

Nach der Methode des linearen Spectrum hat Stokes die Fluorescenz im einfallenden Lichte außerordentlich gemein gefunden, und nach ihm ist nicht leicht eine weiße oder hellfarbene organische Substanz nicht mehr oder weniger empfindlich (a. a. O. S. 261 — 268).

In einzelnen Fällen hat Stokes noch einige andere Untersuchungsmethoden angewendet, die zwar im Allgemeinen durch die bereits für die besonderen Fälle angegebenen entbehrlich werden, indessen doch Beachtung verdienen.

Sonnenlicht wurde durch eine kleine Linse, die in einem Boche in einem senkrechten Brette befestigt war, horizontal reflectirt, dann durch eine Reihe von drei oder vier Münchener Prismen, die dicht hinter einander standen, jedes fast in der Lage der Minimum-Ablenkung geleitet; hierauf ging das Licht durch eine Linse in einem dicht hinter dem letzten Prisma stehenden Brette, und dann erst trat es in den zu untersuchenden Körper, welcher im Allgemeinen so gestellt war, daß seine Vorderfläche ganz oder nahe mit dem Brennpunkte der Linse zusammenfiel. Der Durchmesser der Linse war viel kleiner als die Breite oder Höhe des Prismas, so daß die Linse sich vollständig mit weißem Lichte erfüllte, dessen Bestandtheile

jedoch selbstverständlich in verschiedenen Richtungen eintraten. — Bei Untersuchung der Chininlösung nach dieser Methode erwies sich das dispergirte Licht als bestehend aus zwei Bündeln, die bei ihrem Eintritt in die Flüssigkeit, d. h. an der senkrechten Grenzfläche zwischen der Flüssigkeit und ihrem Gefäße, von einander getrennt waren und weiterhin durch Divergenz noch mehr aus einander gingen. Jedes Bündel bestand selbstverständlich aus einer Reihe von Regeln, deren Axen vom Centrum der Linse aus divergirt und deren Scheitel in dem Brennpunkte dieser lagen. Das eine Bündel bestand aus den helleren Farben des Spectrums in ihrer natürlichen Ordnung; es hatte ein discontinuirliches, funkelndes Ansehen und rührte offenbar nur von Staubtheilchen her, die in der Flüssigkeit schwebten; durch ein Nicol'sches Prisma von oben betrachtet, fand sich, daß es hauptsächlich aus in der Reflexionsebene polarisirtem Licht bestand. Das zweite Bündel war heller als das erste. Seine Farbe, ein schönes Himmelblau, war überall fast gleich, allein am ersten Rande weniger rein. Es hatte ein vollkommen continuirliches Ansehen, und zeigte, von oben durch ein achromatisches doppelbrechendes Quarzprisma betrachtet, keine Spur von Polarisation. Es bildete sich sowohl durch vertical, als durch horizontal polarisirtes, als auch durch gemeines Licht, und zeigte in allen diesen Fällen nie eine Spur von Polarisation.

Eine andere Beobachtungsmethode bestand in Folgendem. Sonnenlicht wurde horizontal durch einen senkrechten Schlig reflectirt und von den Prismen aufgefangen, die wir vorher angeordnet, allein mehrere Fuß vom Schlig entfernt aufgestellt waren. Dicht hinter dem letzten Prisma und ganz oder fast winkelfrecht gegen das austretende Lichtbündel, dasselbe mit seiner Mitte aufnehmend, befand sich eine große Linse von etwas langer Brennweite. Der zu untersuchende Körper war im oder nahe im Abstände des Schligbildes angebracht.

Als die Chininlösung nach dieser Methode untersucht wurde, zeigten sich die hauptsächlichsten der festen Linien des Violett und der chemischen Theile des Spectrums darüber hinaus in schöner Deutlichkeit als dunkle Ebenen, die eine sonst vollkommen stetige Masse vom blauem Lichte unterbrechen. Wurde das Auge in der entsprechenden Ebene gehalten, so ging die dunkle Ebene in eine dunkle Linie über, wie sich von selbst versteht. Vom rothen Ende des Spectrums bis etwa zur Linie G ging das Licht ungehindert durch die Flüssigkeit oder wurde nur hier und da durch mechanisch schwebende Staubtheilchen reflectirt. Bei G begann die Fluorescenz eben merklich zu werden, und Spuren dieser Linie ließen sich sehen als eine dunkle Ebene, die eine Masse von stetigem, aber ungemein schwachem Licht unterbrach; allein weiter hin ward das Fluorescenzlicht so schwach, daß man es übersehen haben würde, wenn man nicht besonders darauf geachtet hätte. Erst mitten zwischen G und H oder etwas früher wurde es so stark, daß es Aufmerksamkeit erregte und ein wenig weiter trat es sehr deutlich auf, ging aber dabei in ein blaßes Himmelblau über. Um die beiden breiten Streifen der Gruppe H herum, und etwas weiter von H gegen G hin, war das Licht sehr reichlich. Einige der festen Linien, die weniger brechbar als H sind, erschienen sehr deutlich, und jenseits H war eine gute Anzahl sichtbar. Bei seitlicher Brechung des ganzen Systems durch ein vor dem Auge gehaltenes Prisma von mäßigem Winkel wurden die festen Linien verworren und die feineren verschwanden. Die Ränder der breiten Streifen H waren prismatisch gefärbt, wie die Ränder zweier Streifen von schwarzem

Samuel. Die man auf blaß blaues Papier gelegt hat und durch ein Prisma betrachtet. Hieraus sieht man, daß, ungeachtet der vollkommenen Homogenität des einfallenden Lichts, das Fluorescenzlicht zusammengesetzt ist.

Noch früher als durch diese Methode kann die Fluorescenz entdeckt und überdies die Farbenveränderung des Fluorescenzlichtes viel leichter wahrgenommen werden durch folgende Methode. Man ordnet Alles wie bei der zuletzt angegebenen Methode und stellt eine kleine Linse von kurzer Brennweite im Abstände des Schligbildes oder zwischen diesem und dem Sonnenbilde auf. Letzteres lag dem Prisma etwas näher, insofern die Brennweite der gewöhnlich angewandten großen Linse zwar viel kleiner, aber doch nicht unvergleichlich kleiner als der Abstand der Linse von dem Schlige war. Gewöhnlich war dicht vor der kleinen Linse ein zweiter Schlig hinzugefügt. Der zu untersuchende Körper befand sich im Brennpunkte der kleinen Linse. Das Fluorescenzlicht wurde von oben betrachtet und durch ein Prisma, welches es seitwärts brach, zerlegt. — Als bei dieser Untersuchungsmethode die Linse horizontal, vom Roth zum Violett, durch die Farben des Spectrums verschoben wurde, zeigte sich die Fluorescenz der Chininlösung zuerst wahrnehmbar in dem Blau. Wurde das Fluorescenzlicht durch ein Prisma von dem an Staubtheilchen reflectirten getrennt, so fand es sich bestehend aus einer ungemein kleinen Menge Roth; weiterhin begann etwas Gelb in seine Zusammensetzung einzutreten; noch weiter, vielleicht an der Grenze von Blau und Indigo, ward es heller, und zeigte bei Zerlegung neben den früheren Farben etwas Grün. Im Indigo war es noch heller und als Ganzes betrachtet, etwas grünlich. Noch weiter bekam es etwas vom bläßen Schleierblau, und bei Zerlegung zeigte es etwas Indigo oder wenigstens ein stark brechbares Blau. Weiter vorwärts wurde das Fluorescenzlicht erstlich tiefer blau und darauf, kurz vor der festen Linie H, weißer. In beträchtlichem Abstände von H endlich war es nur noch ein fast weißer Schein.

Durch die nach den bisher angegebenen Methoden angestellten Untersuchungen ist die Fluorescenz als ein so verbreitetes Phänomen erkannt worden, daß nach Stokes eigenem Ausdrucke es eine unendliche Arbeit sein würde, wenn man eine Liste der empfindlichen Substanzen aufstellen wollte. Es soll daher in den folgenden Zeilen auch nur eine Idee von der Allgemeinheit des Fluorescenzvermögens durch Anführung mehrerer der interessantesten Stoffe gegeben werden.

Es ist bereits angeführt, daß die Lösung von schwefelsaurem Chinin blau fluorescirt, ebenso blau das Abiad der Rinde des Koffkastanienbaumes; grünlich Curcumätinctur, mit blasser, aber lebhaftem Grün der alkoholische Extract von Stechapfelsaamen (*Datura Stramonium*), blutroth die Blattgrün- (*Chlorophyll*-) Lösung. Eine nicht zu starke Lösung von Guajac in Alkohol fluorescirt an der Oberfläche schön violett; blutroth der Extract aus frischen grünen Blättern von *Mercurialis perennis*, aber reichlich orangefarbig der alkoholische Extract der blaugewordenen Blätter und Stiele derselben Pflanze; reichlich etwas dunkelgrün stark mit Wasser verdünnte Orseille; orange ein ätherischer Extract von Lackmus, orange und grün in fast gleichen Mengen ein alkoholischer Extract eben desselben; bläulich eine alkoholische

Lösung von Veratrin. Es dürfte nicht leicht eine pflanzliche Lösung geben, welche nicht mehr oder weniger fluorescirte. So hat man auch verschiedene Arten von rothem Tang und ein Absud von Krapp mit einer Alaunlösung fluorescirend gefunden.

Eine sehr empfindliche Flüssigkeit erhält man nach Osann*) aus Kienruß. Man übergießt Kienruß mit Weingeist von 34 bis 35° B. und läßt die Mischung einen Tag damit stehen; die Flüssigkeit ist gelbbraunlich, muß jedoch noch durch Weingeist verdünnt werden. Die Fluorescenzfarbe ist blaugrünlich, ähnlich der des Stechapfelsaamens. — Der Fürst von Salm-Horstmar hat**) aus der Eichenrinde (*Troxinus excelsior*) einen ausgezeichnet empfindlichen Stoff für Fluorescenz dargestellt, der in der Lösung bräunlich aussieht und im Tageslichte schön blau fluorescirt, selbst wenn man einen Tropfen davon in etwas Alkohol im Glase herumschwenkt, so daß das Glas nur von einer ganz dünnen Schicht überzogen ist. In einem Kasten von blauem Kobaltglase tritt an die Stelle der blauen Fluorescenz eine schwefelgelbe***). — Wenn man die auf einem Filter gesammelten Infusorien *Eucelena viridis* trocknet und mit Alkohol extrahirt, so erhält man nach Salm-Horstmar****) einen smaragdgrünen Extract mit gelblichem Stich, welcher blutroth fluorescirt. Eine Lösung des bei gelinder Wärme zur Trockenheit eingedunsteten Extractes in Schwefeläther steht ebenfalls smaragdgrün aus und fluorescirt auch blutroth sowohl im Sonnenlichte als Kerzenlichte; ebenso fluorescirt eine Lösung in Terpentinöl blutroth. — Durch den Gebrauch absorbirender Medien für sich, so wie durch den eines Hauptabsorbens und eines Prisma fand Stokes die Fluorescenz von weißem Papier, Baumwolle, Knochen, Elfenbein, weißem Leder, des weißen Federkiels, der Haut, der Hand, der Fingernägel etc., bei gewöhnlichem Tageslichte, selbst bei ganz wolkigem Himmel und an einem regniqtem Tage*****).

Unter den nicht organischen Stoffen hat Gladstone†) die rothen Eisenoxydsalze, wenn ein großer Ueberschuß derselben zu Meconsäure zugesetzt wird, fluorescirend gefunden, ferner die blaue Lösung des Eisenchyanürs in Oxalsäure, das gallussäure Eisen und die rothe Lösung von 2 Aequivalenten Jodkalium in 1 Aequiv. Platinchlorid. In den Eisensalzen wird die Fluorescenz nicht durch die ultravioletten, sondern durch gewisse blaue Strahlen hervorgerufen. — Werther††) hat eine große Anzahl von Uranverbindungen auf ihre Fluorescenz untersucht und gefunden, daß sie alle das Violett des Sonnenspectrum in ein gelblich- oder bläulich-grünes

*) Pogg. Ann. Bd. XCVII. S. 329.

**) Ebenda Bd. XCVII. S. 637 u. 644.

***) Schon 1840 beobachtete L. Gmelin (Ann. Ch. Pharm. T. XXXIV. p. 384; Jahresbericht der Phys. u. Chemie von v. Liebig und Kopp. Jahrg. 1856. S. 144) den blauen Schiller eines Decocts von Eichenrinde, schrieb dies aber einem eigenen Schillerstoffe zu.

****) Pogg. Ann. Bd. XCVII. S. 331.

*****) Ebenda Bd. XCVI. S. 536.

†) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXIV. S. 438. Liebig und Kopp's Jahresber. 1855. S. 133.

††) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXV. S. 349. Pharmac. Centralbl. 1855 S. 605. Jahresber. 1855. a a. D.

Licht verwandeln, während sie in den übrigen Theilen des Spectrums die betreffenden Spectralfarben unverändert zeigen. Stokes hat den gelben Uranit, salpetersaures und eisigsäures Uranoxyd fluorescirend gefunden, von vielen anderen Uranoxydsalzen es jedoch nicht entschieden nachweisen können. — Mallet beobachtete *) sehr deutliche Fluorescenz in einer Lösung von thionursaurem Ammoniak, welche zum Behufe der Umwandlung in Uramil mit Salzsäure gekocht war.

Unter den festen Körpern fand Stokes eine Art grünen Flußspath roth fluorescirend und entnahm von diesem Körper, wie bereits bemerkt worden ist, den Namen Fluorescenz. — Das Kanarienglas ist bereits erwähnt. Es fluorescirt im unzerlegten Sonnenlicht gelblichgrün. Es eignet sich dieser Körper besonders zur Darlegung des Fluorescenzphänomens bei Vorlesungen, da man ihn stets zur Hand haben kann. — Nach Stokes fluoresciren mit wenigen Ausnahmen alle farblosen Gläser grün, z. B. Weingläser, Weinflaschen, Medicingläser, Stücken von ungefühltem Glase u., selbst manche Stücken von Tafel- und Kronglas. — Govi hat **) die Bemerkung gemacht, daß die Diamanten, der Wirkung der unsichtbaren Strahlen ausgesetzt, theilweise roth, theilweise blau fluoresciren.

Es ist gar nicht wesentlich, daß die fluorescirende Substanz im Zustande der Lösung sich befindet, wie aus den zuletzt angeführten Beispielen erhellt; es ist nicht einmal nothwendig, daß sie ein transparentes Solidum sei. Die Versuche von Stokes mit gefärbten Papieren gehören hieher. Papier gefärbt mit Curcumäinctur, besonders wenn es mit einer Lösung von Weinsäure getränkt wird, ist sehr empfindlich. Dies Papier muß im Dunkeln aufbewahrt werden. Ähnliche Wirkungen wie das Papier giebt auch das Curcumäupulver und selbst die bloß durchgebrochene Wurzel. Stokes fand, daß überhaupt die mit empfindlichen Substanzen gefärbten Papiere fast immer für Fluorescenz empfindlich waren. Am merkwürdigsten zeigten sich Papiere, die mit einer ziemlich starken Lösung von schwefelsaurem Chinin oder mit dem Extracte von Stechapfelsamen gefärbt waren. Frisches Blattgrün auf Papier zeigte keine Wirkung; aber die Substanz, welche aus schwarzem Thee, von dem der braune Farbstoff durch heißes Wasser entfernt war, mit Alkohol sich ausziehen läßt, zeigte sich durch rothe Farbe in dem stark brechbaren Theile des Spectrums empfindlich. — Mit Guajaklösung gefärbtes Papier macht eine Ausnahme, wohl weil es im Lichte grün wird. — Schellack, gemeines Harz, Peim sind höchst empfindlich, und zwar werden die festen Linien in der Nähe von H bei Schellack auf braunem, beim Harz und Peim auf grünlichem Grunde gesehen. — Die Untersuchung mittelst des Linienspectrums ist hier besonders vortheilhaft. Stokes fand auf diesem Wege eine große Menge von Stoffen fluorescirend, namentlich auch gefärbte Zeuge, z. B. Safflorroth, scharlachfarbenes Tuch, mit Krapp gefärbte Stoffe. Metalle erwiesen sich unempfindlich; ebenso von den nichtmetallischen Elementen Kohle, Schwefel, Iod und Brom. — Mit einer sehr concentrirten Lösung des Kaliumplatin-

*) Sillim. amer. Journ. (2) T. XXIII. p. 434. Jahresber. 1857. S. 126.

**) Institut. 1857. S. 274. Jahresber. 1857. S. 126.

cyanürs auf Papier erzeugte Schriftzüge glänzen nach R. Vöttger*) in dem Lichte, welches bei der Verbrennung eines Stückchens Phosphor oder Schwefel in Sauerstoffgas auftritt, wie Gold, auch wird das Spectrum durch ein solches Papier verlängert. Recht dick, von einer sehr concentrirten Lösung herrührende Schriftzüge auf Papier ließen sich schon schwach erkennen, wenn man in einem völlig verfinsterten Zimmer Schwefelfäden in der atmosphärischen Luft abbrannte. Auch Wertheimer**) hat ähnliche Beobachtungen gemacht. Eine wässrige Lösung des Kaliumplatincyanürs fluoresciren zu sehen, ist noch nicht gelungen. — Ebenso hat Greif***) Schriftzüge von einer wässrigen Lösung des Magnesium-Platincyanürs sehr stark fluorescirend gefunden. Die Schrift erscheint tief roth, wird bei Erwärmung gelb und in diesem Zustande zeigt sie ihre Fluorescenz. Durch die Erwärmung werden Wasserdämpfe ausgetrieben, weshalb auch die Schrift, sobald man sie behaucht, wieder roth wird. — Cyanplatinmagnesium fluorescirt nach Stokes****) mit rothem Lichte, desgleichen Platin-kaliumcyanid mit blauem; ferner die Platincyanide von Calcium, Barium, Strontium mit grünem. Auch er bemerkt, daß die Platincyanide nur im festen Zustande fluoresciren — der hellgelbe Niederschlag, welchen man aus der Lösung des Platincyanids mit einer Lösung von salpetersaurem Quecksilberoxyd erhält, ist sehr empfindlich, so daß er heller ausfällt, als selbst Uranit; das ausgefallene Licht ist gelb. — Bringt man einen Tropfen der Lösung von Platin-kaliumcyanid und einen der Lösung von salpetersaurem Quecksilberoxyd neben einander auf das Täfelchen und untersucht dieselben auf Fluorescenz, so sehen sie zunächst wie Wasser aus; so wie man aber dieselben vermischt, entsteht ein Niederschlag, der mit gelbem Lichte wie ein selbstleuchtender Körper glimmt. — Auch der Niederschlag mit salpetersaurem Silberoxyd ist empfindlich, aber in geringem Grade.

Von den Gasen ist Chlorgas fluorescirend****), und Osann erklärt daraus die Beobachtung Draper's, nach welcher dies Gas, längere Zeit der Einwirkung des Lichtes ausgesetzt, die Fähigkeit erlangt, sich nun auch im Dunkeln und ohne Erwärmung mit Wasserstoff zu Salzsäure zu vereinigen.

Dieser Zusammenstellung lassen wir noch folgende Notizen folgen. Es hat sich herausgestellt, daß empfindliche Substanzen verdünnt besser wirken, als concentrirt.

Mehrere fluorescirende Körper, z. B. das mit Uranoxyd gefärbte Glas, eine Lösung von salpetersaurem Uranoxyd, verlieren die Empfindlichkeit, wenn sie erwärmt werden, gewinnen sie aber erkaltet wieder. Pflanzliche Lösungen scheinen beim Erwärmen ihre Empfindlichkeit zu ändern.

Lösungen von Chinin (nicht Disulphat) in verdünnter Schwefel-, Phosphor-, Salpeter-, Essig-, Citronen-, Wein-, Klee- und Cyanwasserstoffsäure, so wie auch in einer Alaunauflösung zeigen die blaue Fluorescenz in gewöhnlichem

*) Pogg. Ann. Bd. XCVII. S. 333.

**) Erdmann's Journ. Bd. LXV. S. 349.

***) Pogg. Ann. Bd. CVI. S. 645.

****) Ebenda Bd. XCVI. S. 841.

*****) Ebenda Bd. XCIV. S. 641.

Tageslichte, besonders wenn man sie auf oberflächliche Fluorescenz untersucht; allein die Lösung von Chinin in verdünnter Chlornasserstoffsäure zeigt nichts, und ein Zusatz derselben zu den vorhergenannten Lösungen zerstört die Fluorescenz in ihnen. Ebenso wirken Brom- und Jodwasserstoffsäure auf die blaue Fluorescenz der schwefelsauren Chininlösung. In gleicher Weise wirken Säuren auf das Abfud von Koffkastanienrinde fluorescenzzerstörend ein, nicht aber ein Zusatz von Alkalien zu einem frischen Abfud, wenigstens nicht in der ersten Zeit. Ebenso ist eine ätherische Lösung von salpetersaurem Uranoxyd unempfindlich.

Bei der Untersuchung der Platincyanide fand Stokes^{*)}, was man bis dahin noch nicht nachzuweisen im Stande war, daß das Fluorescenzlicht auch Polarisation besitzt. Es fehlen jedoch hierüber noch nähere Bestimmungen. Schon Brewster hat hierher gehörige Versuche angestellt^{**)}.

Daß die Fluorescenz kein auf die oberflächlichen Schichten der Körper beschränktes Phänomen ist, hat G. M. Guillemin^{***)} durch Versuche nachgewiesen, die er mittelst eines durch zwei hinter einander gestellte Quarzprismen gebildeten Spectrums anstellte, indem er nur die zwischen den Strichen H und J liegenden Strahlen des durch das erste Prisma gewonnenen Spectrums isolirt durch die Spalte eines Schirmes auf das zweite Prisma fallen ließ. Er gelangte zu den Schlüssen: 1) daß das Phänomen der Fluorescenz im Innern der Körper entsteht, in einem desto größeren Abstände von der Oberfläche, je weniger brechbar die Strahlen sind; 2) daß die durch ein fluorescirendes Mittel gegangenen Strahlen dasselbe Phänomen zum zweiten Male erzeugen können, wenn sie auf dieselbe Substanz oder auf andere mit derselben Eigenschaft begabte Substanzen fallen, vorausgesetzt, daß das erste keine zu große Dike besitzt; 3) daß die Dike, welche man der Substanz geben muß, damit sie alle fluorescirende Strahlen absorbiert, (damit sie also auf keine zweite Substanz mehr einwirkt) sehr rasch zunimmt in dem Maße, als man von dem äußersten ultravioletten Strahlen gegen die rothen vorrückt. — Auch der Fürst von Salm-Horstmar hatte früher^{****)} hierauf bezügliche, jedoch nicht so eingehende Versuche angestellt. Er fand namentlich, daß, wenn er Lösungen von Chlorophyll, Curcumäinctur und Abfud der Koffkastanienrinde hinter ein Gefäß mit Chininlösung stellte, so daß sie von den durch dieselbe gegangenen Strahlen wieder getroffen werden mußten, die drei Lösungen keineswegs die Eigenschaft verloren hatten, ihre eigenthümlichen Farbenerscheinungen zu zeigen in dem Lichte, welches schon durch die Chininlösung gegangen war. — Auch gehört hierher die Beobachtung von Herschel^{*****)}, daß ein Lichtbündel, welches durch die Lösung von Koffkastanienrinde gegangen ist, blaues Licht dispergirt, doch nicht so reichlich, wenn es durch Chininlösung geleitet wird; daß aber das durch Chininlösung gegangene Bündel beim Durchgange durch Koffkastanienrindelösung reichlich dispergirt.

3. Müller hat eine eigenthümliche Erscheinung beobachtet, die er als intermittirende Fluorescenz bezeichnen möchte^{†)}. Das in einem dunklen

*) Pogg. Ann. Bd. XCVI. S. 342.

**) Ebenda Bd. LXXIII. S. 341.

***) Ebenda Bd. CII. S. 637.

****) Ebenda Bd. LXXXVIII. S. 175.

*****) Ebenda Ergänzungsbd. IV. S. 207.

†) Ebenda Bd. CIV. S. 649.

Zimmer durch ein Flintglasprisma erzeugte Spectrum wurde mit Hülfe einer Linse von großer Brennweite so hergestellt, daß die Fraunhofer'schen Linien auf einem Papierschirme deutlich sichtbar waren. Als nun an die Stelle des gewöhnlichen Papierschirmes ein Papierstreifen gesetzt wurde, welcher mit einer Lösung von Barium-Platin-Cyanür in der Weise bestrichen worden war, daß nach dem Verdampfen des Wassers das Papier mit einer Schicht zarter grünlicher Kryställchen überzogen schien, erblickte er fast die ganze Partie, auf welche blaue Strahlen fielen, unverändert blau; in diesem blauen Stück des Spectrum traten aber noch drei isolirte grüne Fluorescenzstreifen auf. Einer der Fluorescenzstreifen fällt mit seiner Mitte auf die Fraunhofer'sche Linie G, die beiden anderen liegen zwischen G und F. Die Mitte dieser Streifen entspricht den Wellenlängen $0,000462^{\text{mm}}$, $0,000446^{\text{mm}}$ und $0,000430^{\text{mm}}$. Die Lichtstrahlen der eben genannten Wellenlängen bringen also auf dem Barium-Platin-Cyanür eine grüne Fluorescenz hervor, während die dazwischenliegenden Wellenlängen $0,000454^{\text{mm}}$ und $0,000438^{\text{mm}}$, so wie auch Strahlen von der Wellenlänge $0,000420^{\text{mm}}$ keine Fluorescenz auf dieser Substanz bewirken.

Ueber die Wellenlänge der unsichtbaren, durch Fluorescenz sichtbar werdenden, Lichtstrahlen hat W. Eisenlohr *) Beobachtungen und Berechnungen angestellt. Wir können hier nur das Resultat mittheilen, daß nach demselben das Licht vom äußersten Roth bis zum brechbarsten unsichtbaren Strahl eine vollkommene Octave enthält, nämlich daß die Wellenlänge für die äußersten sichtbaren Strahlen beim Roth $0,0007064$, für die äußersten sichtbaren Strahlen beim Violett $0,0003956$ und für die brechbarsten unsichtbaren Strahlen $0,0003540$ Millimeter beträgt. — Nach Esselbach's Untersuchungen **) ist die Wellenlänge der alleraußersten fluorescirenden Strahlen, welche im Sonnenlichte enthalten sind, $0,0003^{\text{mm}}$; folglich wäre die nächst niedere Octave, d. h. die Wellenlänge $0,0006^{\text{mm}}$ nahezu bei dem Fraunhofer'schen Streifen D im Orange zu suchen. — J. Müller hat ***) die Wellenlänge der äußersten dunklen Wärmestrahlen des Sonnenspectrum zu bestimmen gesucht und gelangt an der ersten Stelle zu dem Resultate, daß das Sonnenspectrum im Ganzen etwas über $2\frac{1}{2}$, an der anderen vier ganze Octaven umfaßt, von denen nicht ganz eine auf das sichtbare Spectrum kommt.

Fragt man nun nach der Ursache der Fluorescenz, so könnte man zunächst daran denken, daß die Erscheinung eine phosphorische sei. Dagegen sprechen indeßsen gar manche Thatsachen. Moser ****) wiederholte die Versuche von Stokes in folgender Weise. In einer gut verfinsterten Stube wurde das Spectrum der Sonne wie gewöhnlich gebildet und mittelst eines Stahlspiegels auf die freie Oberfläche einer fluorescirenden Flüssigkeit (Abfud von Roskastanienrinde und Auflösung von schwefelsaurem Chinin) geworfen. Der Raum jenseits H, der für gewöhnlich nicht sichtbar ist, erschien in einem milchweißen Lichte, unterbrochen

*) Pogg. Ann. Bd. XCVIII. S. 353.

**) Ebenda Bd. XCVIII. S. 513.

***) Ebenda Bd. CV. S. 352 und 343.

****) Ebenda Bd. LXXXIX. S. 165.

von den Fraunhofer'schen Linien. Dies milchweiße Licht erstreckte sich bis nahe zwei Zoll über die Doppellinie H hinaus. Verdunkelt man nun das Zimmer ganz, oder verdeckt man den Spiegel, so hört die Erscheinung sogleich auf. Sie dauert also nicht länger als die Ursache. Bewegt man die Flüssigkeit an der Oberfläche, so bleibt die Zeichnung der dunklen Linien scharf. Auch mit intensiverem, concentrirtem Lichte blieb der Erfolg derselbe. Das instantane Anfangen und Aufhören der Erleuchtung bei der Fluorescenz, wenn das thätige Licht zugelassen und fortgenommen wird, betrachtet auch Stokes (a. a. O. S. 322) als den auffallendsten Gegensatz zwischen Fluorescenz und Phosphorescenz. Er sagt: „Es giebt nichts, was den leisesten Verdacht an eine wahrnehmbare Dauer dieser Vorgänge erwecken könnte.“ Auch macht er darauf aufmerksam, daß die Fluorescenz, wenn sie durch einen elektrischen Funken hervorgerufen wird, nicht weniger momentan zum Vorschein kommt, als die Beleuchtung einer Landschaft durch einen Blitzschlag. — Gegen den phosphorischen Charakter der Fluorescenz spricht ferner, daß gerade phosphorische Substanzen wie Schwefelcalcium und Schwefelbarium auf Fluorescenz geprüft sich unempfindlich erweisen. Hierzu kommt noch als ein auffallender Gegensatz, daß sich die Phosphorescenz, wenn ein Theil eines Phosphors erregt worden ist, von selbst allmählig auf die benachbarten Theile verbreitet, während sowohl in einer Lösung, als in einem klaren Solidum, als auch auf einem getränkten Papiere bei der Fluorescenz die feinsten Linien des Spectrum's scharf begrenzt erblickt werden.

Brewster*) suchte die Ursachen der inneren Zerlegung und Streuung des Lichts in einem dem Körper eigentlich fremdartigen, bei dem fluorescirenden Flußspathe z. B. betrachtete er das Phänomen als das Resultat einer ungleichen oder unvollkommenen Krystallisation. Da das Fluorescenzlicht sich nicht als polarisirt erwies, aber reflectirtes Licht sein mußte, so nannte er es allseitig (quaqueversus) polarisirt, und kam nun zu dem Schlusse, daß, wenn man nicht voraussetzen wollte, diese allseitige Polarisation sei eine neue, durch eine besondere Wirkung gewisser fester und flüssiger Körper erzeugte Eigenschaft des Lichts, sie hervorgebracht werde durch eine Anzahl doppeltbrechender Krystalle, die ihre Axen doppelter Strahlenbrechung in allen möglichen Richtungen zu liegen haben, und deshalb von ihren hinteren Oberflächen ein Lichtbündel mit allseitiger Polarisation reflectiren.

Stokes spricht sich dahin aus, daß man nach der Emanationstheorie sich damit helfen könne, das Phänomen als einen neuen Fall von Lichtzerlegung zu betrachten, nach der Vibrationstheorie werde man eine Erklärung in einer Veränderung entweder der Brechbarkeit oder des Polarisationszustandes zu suchen haben; denn die Strahlen, welche Fluorescenz erzeugen, scheinen von anderer Natur als die fluorescirenden Strahlen zu sein, da die letzteren selbst ganz ungehindert durch mehrere Zolle der Flüssigkeit gehen, während eine Schicht, deren Dicke nur einen kleinen Bruch eines Zolls beträgt, hinreicht, das Licht von denjenigen Strahlen zu reinigen, welche Fluorescenz hervorzubringen vermögen.

Zunächst lenkte Stokes seine Aufmerksamkeit auf die Polarisation. Da eine Flüssigkeit keine Axen hat, so glaubte er, daß eine Circular-Polarisation ins Spiel komme. Da einige Flüssigkeiten doppeltbrechend sind, sie rechts- und links-

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 345.

circular-polarisirtes Licht mit verschiedener Geschwindigkeit durchlassen, so könnte es auch sein, daß diese doppelt-absorbirend wären, ein rechts-circular-polarisirtes Licht von gewisser Brechbarkeit stark absorbirten und ein links-circular-polarisirtes ungeschwächt fortpflanzen. Das rechts-circular-polarisirtes Licht, absorbirt, im Sinne als fortgenommen vom einfallenden Bündel, könnte — genauer gesprochen — zerstreut und deshalb depolarisirt worden sein. Das so erzeugte gemeine Licht würde äquivalent sein zweien Bündeln von gleicher Intensität, einem rechts- und einem links-circular-polarisirten. Von diesem würde das letztere ungehindert durchgelassen, das erstere aber aufs Neue zerstreut werden u. s. f. Allein diese an sich schon unwahrscheinliche Hypothese wäre noch nicht ausreichend. Es wären neue Voraussetzungen erforderlich, um den Umstand zu erklären, daß ein nach Herschel epipolarisirtes Bündel, wenn es der prismatischen Analyse bei geringer Vergrößerungskraft unterworfen wird, keine Absorptionsstreifen in der Gegend zeigt, in welcher ihrer Brechbarkeit nach, die dispergirten Strahlen hauptsächlich gehören. Diese Theorie hätte also im Ganzen nicht den geringsten Schein von Wahrheit.

So sah sich Stokes zu der Annahme getrieben, daß jene Veränderung des Lichts in einer Veränderung seiner Brechbarkeit und zwar in einer Erniedrigung derselben bestehe, wiewohl man seit Newton geglaubt hatte, daß Licht bei allen Modificationen, die es erleiden mag, seine Brechbarkeit unverändert behalte. Man hat nur anzunehmen, daß die unsichtbaren Strahlen jenseits des äußersten Violett durch eine innere Dispersion Anlaß geben zu anderen, die zwischen die Brechbarkeitsgrenzen fallen, innerhalb welcher die Netzhaut des Menschenauges afficirt wird (a. a. O. S. 182). Daß wir die ultravioletten Strahlen direct nicht wahrnehmen, kann nämlich seinen Grund darin haben, daß diese Strahlen von den brechenden Medien des Auges ebenso, wie vom Schwefelkohlenstoff absorbirt werden und daher die Netzhaut gar nicht erreichen, oder daß sie zwar auf die Netzhaut fallen, von dieser aber wegen ihrer Unempfindlichkeit für so schnelle Schwingungen nicht empfunden werden. Nun steht fest, daß eine Absorption, wie sie eben bezeichnet wurde, nicht stattfindet, worüber namentlich Donders Untersuchungen angestellt hat, folglich kann nur der zweite Grund als gültig anerkannt werden.

Die Fluorescenzercheinungen in allen ihren Einzelheiten erklären zu können, ist jetzt noch gar nicht zu erwarten. Sie scheinen mit dem innersten Gefüge der chemischen Molecüle verknüpft zu sein in solchem Grade, daß selbst die Phänomene der Polarisation dadurch verdunkelt werden. Es steht selbst die Erklärung des Gesetzes, daß bei der Fluorescenz eine Erniedrigung der Brechbarkeit eintrete, noch nicht fest. Stokes theilt (a. a. O. S. 326 ff.) seine Ansichten hierüber mit; wir können hier aber nur andeuten, daß derselbe die Erklärung auf periodische Aether- und Molecülschwingungen basset. W. Eisenlohr ist auf die Vermuthung gekommen, daß hier eine Interferenz der kürzeren Wellensysteme Blauviolet und Ultraviolett vorliege*). Er nimmt an, daß unser Auge für eine gewisse Schwingungsdauer (das gelbe Licht) die größte Empfindlichkeit habe und daß es für längere, wie für kürzere Wellen um so weniger empfindlich sei, je mehr diese ihrer Tiefe oder Höhe nach von dem mittleren Lichte verschieden sind. Das Licht selbst besteht darnach aus den sichtbaren Wellensystemen und außerdem noch aus Wellen, die länger sind als Roth, und aus solchen, die kürzer sind als Violett.

*) Pogg. Ann. Bd. XCIII. S. 623.

So wie nun der Combinationston zweier Töne tiefer ist als jeder einzelne, aus denen er entsteht, so kann auch aus der Interferenz von Gelb und Blau nur Licht von größerer Wellenlänge und nicht etwa violettes Licht entstehen. Da nun Roth schon die längsten Wellen von dem für uns sichtbaren Lichte hat, so kann durch die Combination von rothen und gelben Lichtwellen nur ein tieferer Farbton als Roth, folglich kein sichtbares Licht entstehen. Eine Fluorescenz in dem dunklen Raume im Spectrum neben dem Roth ist darum nicht zu erwarten. Ganz anders ist es am entgegengesetzten Ende des Spectrums. Das ultraviolette, d. h. das in dem dunklen Raume neben dem Violet des Spectrums wirkende, Licht besteht in unzähligen Wellensystemen, deren unter sich verschiedene Längen alle eine kürzere Schwingungsdauer als das violette Licht haben. Durch ihre Interferenz entstehen Wellen von größerer Länge als die übrigen und bei ihrer großen Mannichfaltigkeit Combinationenfarben von nicht minder großer Zahl; daher in manchen Fällen alle Arten von sichtbarem Lichte oder Weiß. In anderen Fällen herrscht in der Mischung der Combinationenfarben eine gewisse Farbe vor, die eben ihren Grund zum Theil in der Mischung der ursprünglichen Wellen, zum Theil in dem Abstände der reflectirenden Atomisichten des fluorescirenden Körpers haben wird. — Es fragt sich nur, wodurch wird die Combination veranlaßt. Und da würde man doch wieder auf ein Verhältniß zwischen den Aethererschwingungen und den Molekülen zurückgehen müssen.

Ein Gedanke drängt sich unwillkürlich auf, daß sich vielleicht analoge Erscheinungen herausstellen dürften, deren Erklärung nicht eine Verminderung, sondern eine Vergrößerung der Brechbarkeit erfordern möchte, wenn nämlich das unsichtbare ultraroth Licht ebenso sichtbar gemacht werden könnte, wie es nun mit dem ultravioletten gelungen ist. Dann würde die Idee von Gieselohr nicht mehr sichthaltig sein, wohl aber dürfte der von Stokes eingeschlagene Weg auch dann noch brauchbar sich erweisen.

Soweit die Untersuchung der Fluorescenz bis jetzt gediehen ist, müssen wir zwar eingestehen, daß eine Verminderung der Brechbarkeit dabei stattfindet, aber die theoretische Seite ist noch keineswegs zum Abschlusse gekommen. Es wäre wohl möglich, daß sich auch eine nur dem Grade nach verschiedene Uebereinstimmung mit der Phosphorescenz herausstellte. Sind auch, wie oben angeführt ist, zwischen beiden Phänomenen nicht in Abrede zu stellende Gegensätze, so zeigen sich doch auch manche Analogien, namentlich wenn man die Fälle der Phosphorescenz ins Auge faßt, bei welchen ein sanftes Leuchten eintritt, sobald die phosphorescirende Substanz, ohne eine chemische Veränderung zu erleiden, eine Zeitlang einer Lichtquelle ausgesetzt gewesen ist. Als eine solche Analogie verdient besondere Beachtung, daß es, wie bei der Fluorescenz, vorzugsweise die der violetten Seite des Spectrums angehörenden Lichtstrahlen sind, welche phosphorescenz-erregend wirken. Osann hat*) auf diese und andere Analogien besonders aufmerksam gemacht, namentlich das farbige Licht der Phosphore mit der Fluorescenz in Zusammenhang zu bringen gesucht und auf gleichem Wege den Widerspruch zu lösen sich bemüht, daß Phosphore zugleich weißes und farbiges Licht reflectiren können. Vielleicht stellt es sich heraus, daß die Fluorescenz nur ein

*) Pogg. Ann. Bd. XCIV. S. 640.

so starkes Phosphorestreben ist, daß es schon während der Insolation wahrnehmbar wird, aber mit ihr auch gleichzeitig wieder aufhört. G. G.

Zink (Spianter, Galmeymetall). Chemisches Zeichen: Zn. Äquivalent: 406,59 ($O = 100$) oder 32,58 ($H = 1$).

Das Zink war den Alten nicht bekannt, wohl aber das Messing, von dessen Bereitung schon Aristoteles spricht. Letzteres, wie bekannt eine Legirung von Kupfer und Zink, wurde durch Zusammenschmelzen von Kupfer mit einer Erde (Cadmia, Galmey) bereitet. Paracelsus spricht zuerst vom Zink und rechnet es bald zu den Metallen, bald zu den Bastarden derselben (den Halbmetallen). Wie aber das Zink dargestellt werde, darüber verläutet bei ihm nichts. Ueberhaupt waren die Kenntnisse, die man von diesem Metall hatte, selbst noch im 17. Jahrhundert und später sehr dürftig. Erst Stahl und seine Nachfolger sprachen es aus, daß das Zink das Metall des Galmey sei und daß letzterer das Kupfer eben dadurch in Messing verwandele, daß es in Zink übergehe.

Gediegen kommt das Zink in der Natur nicht vor und eben darum kannten es auch die Alten nicht. Die Zinkerze sind entweder Schwefelverbindungen, wie die Zinkblende (ZnS) oder Salze, wie der Zinkspath oder das kohlensaure Zinkoxyd oder der edle Galmey (ZnO , CO_2) oder das kiesel-saure Zinkoxyd, der gewöhnliche Galmey oder Kieselzinkerz $2 (3 ZnO, SiO_2) + 3 H_2O$. Außerdem kommt noch Rothzinkerz (Zinkoxyd durch kleine Antheile von Mangan- und Eisenoxyd roth gefärbt) in Begleitung von Franklinit (wesentlich Fe_2O_3 , ZnO) in ungeheuren Lagern im Staate New-Jersey vor. Auf der Londoner Industrie-Ausstellung von 1851 befand sich ein schönes Stück dieses amerikanischen Erzes, nicht weniger denn 16.000 Pfd. wiegend. — Neuerdings hat man das Zink auch in Pflanzen entdeckt. Die Galmeyhügel in Rheinpreußen und Belgien haben eine eigenthümliche Flora. Ganz besonders zeichnet sich ein der *Viola tricolor* verwandtes Weilchen aus, das seine zahlreichen, schön gelben Blüthen in ununterbrochener Folge vom Frühling bis zum späten Herbst entfaltet. Bei Aachen ist es allgemein unter dem Namen Galmeyweilchen (Kalmesweilchen) bekannt. Die Bergbeamten versichern, daß das Galmeyweilchen in den Gärten ausarte und dem gemeinen dreifarbligen Weilchen wieder ähnlich werde. Dagegen ist das Vorkommen dieser Pflanze auf galmeyhaltigem Boden so constant, daß selbst bergmännische Versuche auf die bloße Anzeige dieses Weilchens mit Erfolg unternommen worden sind. Diese Thatsachen brachten bei Braun die Vermuthung hervor, daß dieses Weilchen selbst Zink enthalte, was auch durch die Untersuchung von Nonheim bestätigt wurde.

Die Zinkerze finden sich nur an wenigen Stellen. In Europa haben Oberschlesien, Rußisch-Polen, Westphalen, Rheinland und Belgien die Hauptproduction. Im Ganzen werden jährlich 640000 Ctr. producirt; davon kommen 62,5 Proc. auf Schlesien, 18,75 Proc. auf Belgien, 14,06 Proc. auf Polen, Krakau und Deutschland und 4,69 Proc. auf England. Im letzteren Lande soll seit 1730 die Darstellung des Zink im Großen betrieben worden sein, indessen kam es schon früher unter dem Namen Tutanego aus China. Zur Ausbringung des Zinks dient meistens der Galmey, der zuerst für sich gebrannt und dann mit Kohle in horizontalen, irdenen Röhren, Ruffelöfen oder großen Tiegeln, durch deren Boden ein großes, offenes Rohr bis über die Oberfläche des stehenden Zinks hinaus geht und in einem darunter befindlichen, mit Wasser gefülltem Gefäß

mündet, reducirt wird. Das metallische Zink ist flüchtig; es entweicht also während der Reduction neben Kohlenoxydgas als Dampf und muß daher in kalte Räume geleitet werden, wo es sich absetzt. Das so erhaltene Zink besteht aus einzelnen zusammenhängenden, mehr oder weniger großen Tropfen. Es wird in einem mit Lehm ausgeschmierten eisernem Kessel geschmolzen und dann in Formen ausgegossen. Neuerdings nimmt man diese Schmelzung auch in besonderen Oefen vor, um eine Verunreinigung mit Eisen zu vermeiden. Bei dem gerösteten Galmei beträgt die Ausbeute an Metall in der Regel 40 Proc. — Will man die Zinkblende zu Gute machen, so entschwefelt man sie durch einen hinreichend großen Zusatz von Eisen. Oder man röstet sie anhaltend, wobei sich stets neben schwefelsaurem Zinkoxyd auch reines Zinkoxyd in nicht unbedeutenden Mengen bildet, welches dann durch Kohle reducirt wird.

Das im Handel vorkommende Zink enthält noch mancherlei fremde Metalle, Arsenik, Schwefelblei und Kohle, im Ganzen gewöhnlich bis zu 2 Proc. Um diese Beimengungen wenigstens zum großen Theil zu beseitigen, wird das Zink nochmals der absteigenden Destillation in einem Tiegel unterworfen. Geringe Mengen der verunreinigenden Metalle werden indessen stets durch die Zinkdämpfe mit fortgerissen. Eine andere Reinigungsmethode beruht darauf, daß man das Zink mit Schwefel zusammenschmilzt; dieser verbindet sich nicht mit jenem, sondern vorzugsweise mit den fremden Metallen, die sich dann an der Oberfläche des geschmolzenen Zinks abcheiden und abgeschöpft werden. Die Reinigung des Zinks ist darum so wichtig, weil die Dehnbarkeit desselben durch die fremden Beimengungen sehr beeinträchtigt wird. Geringe Mengen sind bei der Anfertigung des Zinkblechs sehr hinderlich. — Will man gar chemisch reines Zink bereiten, so muß man das auf nassem Wege dargestellte Zinkoxyd mit Kohle reduciren.

Bei chemischen Versuchen, insbesondere zur Entwicklung von Wasserstoff, ist es sehr bequem, das Zink in Gestalt kleiner Körner anzuwenden. Zu diesem Ende wird das Metall granulirt, d. h. es wird geschmolzen und dann durch einen angefeuchteten Besen, den man über ein mit Wasser gefülltes Gefäß hält, gegossen, während das Wasser gelinde bewegt wird. Dieselben Dienste leisten aber auch die Abfälle des Zinkblechs. Sehr fein zertheiltes Zink läßt sich auf rein mechanischem Wege sehr schwer herstellen. Selbst die Reduction des Metalles aus einer Auflösung von essigsaurem Zink mittelst des galvanischen Stromes hat ihre Schwierigkeiten. Besser gelingt dies nach Künz el, wenn man in eine neutrale, vollkommen gesättigte Lösung von Chlorzink Zinkstäbe hineinstellt und dann destillirtes Wasser darauf gießt, aber mit der Vorsicht, daß dasselbe über der Zinklösung stehen bleibt und sich nicht mit dieser mischt. Man beobachtet sehr bald eine Gasentwicklung und das Zink scheidet sich metallisch aus. Sobald man nur eine einzige Flüssigkeitsschicht wahrnimmt, ist die Zersetzung beendigt. Das ausgeschiedene Zink wird zuerst mit Alkohol, dann mit Aether ausgewaschen. Es ist frei von Oxyd. Die rückständige Chlorzinklösung kann durch Abdampfen wieder zu einer neuen Zersetzung geschickt gemacht werden.

Das Zink hat eine bläulich weiße Farbe und einen starken metallischen Glanz. Das specifische Gewicht variiert zwischen 6,86 bis 7,20, je nachdem das Metall nur geschmolzen oder zu Blech verarbeitet, also verdichtet worden ist. Es ist nur wenig biegsam und bricht sehr leicht, d. h. bei gewöhnlicher Temperatur. Der frische Bruch zeigt dann ein stark glänzendes, strahlig blättriges Gefüge. Bis auf

100 oder 150° erhitzt, wird das Zink gewissermaßen hämmerbar; Es läßt sich bei dieser Temperatur zu Blech verarbeiten, also walzen und strecken, so wie zu Draht ausziehen. Aber bei 200° wird es wieder brüchig, so daß es in einen Mörser zu Pulver zerstoßen werden kann. Die Temperatur, bei der das Zink verarbeitet wird, ist indessen nicht der einzige Grund für die Sprödigkeit oder Dehnbarkeit. Man hat schon lange auf den Zinkhütten beobachtet, daß hoch erhitztes und sehr rasch abgekühltes Zink immer spröde ist. Darum wirft man vor dem Ausgießen des in großen Kesseln geschmolzenen Zinks einige Stücke starren Zinks hinein und rührt gut um. Das auf diese Weise erhaltene Zink ist weich und dehnbar und braucht bei der Verarbeitung zu Blech einer nochmaligen Schmelzung nicht unterworfen zu werden. Hiernach hat also auch wesentlich die Temperatur, die das Metall geschmolzen vor dem Ausgießen besitzt, auf seine Dehnbarkeit Einfluß.

Das Zink dehnt sich unter allen Metallen beim Erwärmen am meisten aus; zwischen 0 bis 100° nämlich um 0,00294167 oder $\frac{1}{340}$ (nach Smäton) oder um 0,003051 nach Guyton de Morveau. Nach Ruffchenbroek soll ein Zinkdraht von 0,002^m Stärke ein Gewicht von 12,72, nach Guyton de Morveau sogar von 55^{Kgrm.} tragen. — Das Zink krystallisiert nach Möggerath in sechsseitigen Säulen und nach Niels auch in Pentagonalendodekaedern *).

Das Zink löst sich leicht in Salzsäure und in verdünnter Schwefelsäure, wobei sich Wasserstoffgas entwickelt. Früher nahm man an, daß das unreine Metall sich leichter in der zuletzt genannten Säure auflöse als das reine. Aber auch dieses Verhalten scheint wie die Dehnbarkeit von der Hitze, die das Metall beim Schmelzen erreicht, abzuhängen und zwar bedingt eine geringere Temperatur eine geringere Löslichkeit. Ebenso ist das Zink auch in kochender Lauge löslich; es entwickelt sich hier gleichfalls Wasserstoff, während das Zink mit dem Alkali eine lösliche Verbindung eingeht. Taucht man zu gleicher Zeit Eisen in die alkalische Flüssigkeit, so geht die Zersetzung des Wassers bei gewöhnlicher Temperatur vor sich. Das Zink allein löst sich hierbei auf; das Eisen bildet mit dem Zink ein Volta'sches Paar, in welchem das letztere Metall das positive Element ist. Diese Zersetzung des Wassers bei Gegenwart von Alkalien tritt besonders leicht bei dem galvanisirten, d. h. mit Zink überzogenem Eisen ein. — Das Zink verhält sich zu den meisten Metallen positiv elektrisch, worauf seine Verwendung zu galvanischen Apparaten beruht. Es schlägt die meisten Metalle, mit Ausnahme des Eisens, aus Lösungen metallisch nieder.

Zwischen 360 bis 412 schmilzt das Zink und bedeckt sich hierbei mit einer Oxidhaut, die sich beim Entfernen fortwährend erneuert; in der Weißgluth kocht es und verflüchtigt sich. Deshalb brennt es noch beim Zutritt der Luft, sobald es über den Schmelzpunkt erhitzt wird, mit einer glänzenden, grünen Flamme, weil eben das Verbrennungsproduct, das Zinkoxyd, ein fester Körper ist. — Im fein zerkleinerten Zustande zersetzt das Zink schon bei einer Temperatur von wenig über 100° Wasserdämpfe.

Das Zink oxydirt sich an feuchter Luft sehr leicht, jedoch nur oberflächlich. Der schmutzig aschgraue Ueberzug, der sich hierbei bildet, schützt das darunter

*) Ver. d. Berliner Akad. 1852. S. 26.

liegende Metall vor weiterer Oxydation. Nach den Untersuchungen von Bettenkofer *) ist es hierbei nicht gleichgültig, ob die Zinkfläche ein Aggregat von größeren oder kleineren Kristallen ist. Im ersteren Fall schreitet die Oxydation rascher fort als im letzteren. Die Oxyddecke besteht aus Zinkoxyd, Kohlensäure und Wasser und kann als Zinkoxydhydrocarbonat $[4 (\text{ZnO} \cdot \text{CO}_2) + \text{ZnO} \cdot \text{HO} + 7 \text{ aq.}]$ betrachtet werden.

Wenn wir gesagt haben, daß das Metall durch die Oxydschicht vor weiterer Oxydation geschützt wird, so gilt dies nur bedingungsweise. Da das Zinkoxyd in bedeutenden Mengen durch das Regenwasser fortgeschwemmt wird, so kann das Fortschreiten des Oxydationsprocesses nicht ganz verhindert werden. In freier Luft wird also ein Gegenstand aus Zink mit der Zeit vollständig zerstört; doch geschieht dies nur äußerst langsam. Ein Zinkdach bedeckte sich in 27 Jahren pro Quadratfuß mit 8,38 Grm. Oxyd und wurde die Hälfte davon durch das Wasser fortgeführt. Diese Oxydschicht besitzt eine Dicke von 0,00543 Linien, also wenig mehr als den 5000sten Theil einer Linie. Hiernach also berechnet sich die Dauer eines Zinkdaches, dessen Blech z. B. nur 0,25 Linien dick ist, auf 243 Jahre.

Aus diesem Grunde wird das Zink vielfach benutzt zum Protegiren des Eisens, d. h. um dasselbe gegen den zerstörenden Einfluß der Luft zu schützen. Man taucht einfach das Eisenblech oder den Draht in geschmolzenes Zink **). Der verzinkte Eisendraht dient besonders zu Telegraphenleitungen. Bettenkofer hat ein einfaches Verfahren angegeben, um die Dicke einer Verzinkung auf Eisen zu ermitteln ***). Es gründet sich auf das Verhalten von metallischem Zink und Eisen gegen eine verdünnte Kupfervitriollösung. Blankes Zink bedeckt sich in einer solchen Lösung (1 Th. Kupfervitriol in 120 Th. Wasser) mit einem sammet-schwarzen Pulver, das sich leicht fortwischen läßt, wobei dann wieder die weiße Zinkfläche zum Vorschein kommt. Das Eisen dagegen überzieht sich sogleich mit metallischglänzendem Kupfer. Man kann also hieraus sehr leicht den Zeitpunkt erkennen, wo alles Zink aufgelöst und das Eisen zum Vorschein kommt. Wählt man gleich große Stücke aus und läßt man die Eintauchungen gleiche Zeit (10 Sekunden) währen, so kann man aus der Zahl derselben die Dicke der Verzinkung schätzen.

Lange Zeit wußte die Technik von dem Zink nicht den Gebrauch zu machen, den das Metall zuließ, obgleich es doch in ziemlicher Menge vorkommt und leicht zu gewinnen ist. Bis zum Jahre 1832 beschränkte sich die ganze Verwendung auf die Blechfabrikation und auf die Erzeugung von Messing. Zeitweise glaubte man neue Verwendungen aufgefunden zu haben, aber diese dienten nur der Speculation; sofort gingen die Preise, je nach den Hoffnungen, mehr oder weniger in die Höhe, um sofort wieder zu sinken, sobald sich die Hoffnungen nicht erfüllten. So schwankte denn der Preis des Zinkes pro Ctr. zwischen 2,86 bis 24 Thlr. Diese Verhältnisse mußten sehr nachtheilig auf die Production wirken und das war wieder ein Hinderniß für die Verwendung.

*) Abhandl. der techn. Comm. der B. Akad. Bd. I. S. 149. — Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLV. S. 296.

**) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLIII. S. 434 und Bd. CXLIV. S. 118.

***) Ebenda Bd. CXLII. S. 420.

Den ersten Anstoß zu geregelteren Verhältnissen und zu ausgebehnterer Verwendung gab die Darstellung von Zinkgusswaaren. Die ersten Gegenstände (große Architecturstücke und vollrunde Gegenstände) gingen 1833 aus der königl. Gießerei in Berlin hervor. Schinkel erkannte sofort die Bedeutung des Zinkgusses für architectonische Zwecke und unter seinem Schutze erlangte der neue Industriezweig sehr bald eine große Bedeutung. Berlin ist noch immer ein Hauptsitz des Zinkgusses und ist es besonders die Gießerei von Weiß und Sevaccane, deren Leistungen besondere Anerkennung gefunden haben. Das rasche Emporkommen verdankte der Zinkguss seiner leichteren, wohlfeileren und fehlerfreieren Darstellung. Die Bildsamkeit des Metalles, die Reinheit und Schärfe des Gusses wurden bald erkannt und die Witterungsbeständigkeit fiel auch mit in die Wage. Einzig störend war nur die unschöne, von der unvermeidlichen Oxydation herrührende Farbe; man sucht sie in der Regel durch Farbenanstriche zu beseitigen. Seit der Erfindung der Galvanoplastik kann man sogar bei monumentalen Arbeiten den Braunguss, der meistens 10 Mal theurer ist, durch den Zinkguss ersetzen. Durch einen dünnen galvanischen Kupferüberzug läßt sich ja das Aussehen der Bronze nachahmen.

Sehr mannichfaltig ist heutiges Tages auch die Verwendung des Zinkbleches zu Bauzwecken, namentlich zur Dachdeckung, Dachrinnen, Ablaufröhren, Wasserleitröhren etc. *) und zu Gefäßen aller Art. In solchen Gefäßen darf man aber nie Speisen oder Flüssigkeiten aufbewahren, die genossen werden sollen, da das Zink sich so leicht an der Luft oxydirt und dann mit den schwächsten Säuren Salze bildet, die nachtheilig auf den menschlichen Körper wirken. So wurden z. B. vor einiger Zeit Zinkgefäße zur Aufbewahrung der Milch empfohlen, weil man hierbei eine größere Ausbeute an Butter wollte beobachtet haben. Die Thatsache war richtig, aber die Gewichtszunahme bestand nicht in Butter, sondern in milchsaurem Zinkoxyd. Außerdem wird das Zinkblech noch zu allerlei Lampen- und Flaschenarbeiten verwendet, so wie zum Ausfüttern von Kisten, in welchen Waaren über Meer gesendet werden. Es dient auch in botanischen Gärten zur Bezeichnung der Pflanzen, weil eine Auflösung von Grünspan darauf eine dem Wetter widerstehende schwarze Schrift hervorbringt.

Eine vielverbreitete Anwendung finden die durchlöchernten Zinkbleche zu Sieben aller Art in den chemischen Gewerben, dann zum Verschluss von Kellerlichtern und anderen Oeffnungen an Gebäuden, die Licht und Luft sollen eindringen lassen, aber das Ungeziefer abhalten. Die Durchlöcherung geschieht mit Maschinen und die Löcher haben alle möglichen Formen und Größen, von 200 bis zu 32,000 auf den Quadratfuß. Die gepressten oder geschlagenen Verzierungen aus Zinkblech sind ebenfalls ein wichtiger Industriezweig. Sie eignen sich besonders zur äußeren Verzierung der Hausfacaden, da sie billig und widerstandsfähig sind.

Öelfarben, die bekanntlich dem Eisenblech so stark anhaften, haben nur wenig Haltbarkeit auf Zinkblech. Man kann aber dem Öelanstrich eine größere Dauer geben, wenn man vorher das Blech mit verdünnter Salzsäure besprengt. Dadurch erzeugt sich nämlich Chlorzink und dieses verwandelt sich mit der Zeit an der Luft in Oxydchlorid. Diese Umwandlung erfolgt nur langsam und ist erst dann vollendet, wenn das zerfließliche Chlorid fest, also die Oberfläche trocken geworden ist.

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXL. S. 339. — Chem. Centralbl. 1863. S. 60.

Das Häutchen von Oxydchlorid haftet fest auf dem Metall und macht die Oberfläche rau, wodurch die Haltbarkeit des Anstriches bedingt wird.

In Deutschland und England haben die Zinkplatten zum Theil die lithographischen Steine ersetzt. — Neuerdings benutzt man das Zink auch zur Entsilberung des Bleies. Man gießt geschmolzenes Zink in geschmolzenes Blei und rührt das Ganze tüchtig um. Nach kurzer Zeit schwimmt das Zink auf der Oberfläche und enthält sämtliches Silber und die übrigen fremdartigen Metalle. Es wird mit eisernen Löffeln abgeschöpft und da viel Blei darin enthalten ist, letzteres durch Schmelzen bei niedriger Temperatur getrennt. Das Zink wird durch Destillation entfernt, so daß das Silber zurückbleibt.

Mit dem Sauerstoff verbindet sich das Zink in zwei Verhältnissen: Zinkoxyd (ZnO) und Zinksuperoxyd (ZnO^2).

Das Zinkoxyd, Zinkweiß, Zinkblumen (*Flores Zinci*) wird entweder auf trockenem oder nassem Wege bereitet, d. h. durch Verbrennen des Zinks oder durch Glühen des kohlen sauren oder salpetersauren Zinkoxydes. Da das Zinkoxyd beim jedesmaligen Erhitzen zinkhaltiger Substanzen entsteht, so war es bereits den Alten unter den Namen Pompholix bekannt. Des wolligen Ansehens wegen, nannten die Alchemisten das auf trockenem Wege dargestellte Zinkoxyd *lana philosophica* (philosophische Wolle). Schon Dioscorides verglich die Pompholix mit Büscheln Wolle. Wegen der Aehnlichkeit dieses Zinkoxydes mit Schneeflocken nannten die Alchemisten dasselbe auch *nix alba*, woraus die Benennungen „weißes Nichts“ oder *Nihilum album* entstanden sind.

Um Zinkoxyd zu bereiten, erhitzt man das Metall bei Luftzutritt in einem Tiegel, wobei dasselbe zu Zinkoxyd verbrennt. Zum größten Theil sammelt sich das letztere im Tiegel an, ein kleiner Theil wird indessen durch die aufsteigende, erhitzte Luft mit fortgerissen. Von dem stets beigemengten metallischen Zink wird das Oxyd durch Schlämmen befreit. — In unreinem Zustande, mit Eisenoxyd, Ofenbruch und Kohle gemischt, kommt es als *Tutia* in den Handel. Es setzt sich beim Aus schmelzen der Zinkerze in großen Mengen in den weniger heißen Theilen der Oefen ab und wird zur Bereitung des Messing verwendet.

Die Zinkblumen wurden sonst fast einzig nur in Apotheken gebraucht; jetzt dient jedoch das Zinkoxyd als Anstrichfarbe anstatt des Bleiweißes, weshalb das Zinkoxyd in großer Menge und zwar auf trockenem Wege bereitet wird. Man erhitzt zu diesem Zweck das Zink in thönernen Retorten, die zu 8 bis 10 in zwei rückwärts zusammenstoßenden Reihen in einem Flammenofen liegen. Die entweichenden Dämpfe treffen außerhalb der Retorten mit einem bis auf 300° erhitzten Luftstrom zusammen, durch welchen sie zu Oxyd verbrennen. Durch diesen Luftstrom wird das Zinkoxyd in große Kammern geführt, in denen es sich absetzt.

Zu dieser Verwendung des Zinkoxydes hat die Gefährlichkeit des Bleiweißes bei seiner Darstellung und Verarbeitung Veranlassung gegeben. Außerdem hat das Zinkoxyd vor dem Bleiweiß noch den großen Vortheil, daß es nicht durch Schwefelwasserstoff geschwärzt wird. Es bleibt also stets unverändert, während das Bleiweiß schwarz wird. Darum ist es besonders für die Anfertigung der Tapeten und der Visitenkarten zu empfehlen. Sollen Delanstriche mit Zinkweiß ihre Farblosigkeit bewahren, so darf natürlich in dem Firniß kein Blei

enthalten sein. Der Firniß für Zinkweiß wird mit Mangansuperoxyd gekocht und zwar 10 Th. Braunstein in erbsengroßen Stücken mit 100 Th. Leinöl 24 bis 36 Stunden lang. Ein vortreffliches Trockenmittel bei Zinkweißölanstrichen ist das sog. Siccativ gumatique. Es wird zu $2\frac{1}{2}$ Proc. der Delfarbe zugesetzt und macht dann den Anstrich in 10 bis 12 Stunden vollkommen trocken. Nach einer Untersuchung von Volley besteht dieses Trockenmittel in 91,94 Zinkoxyd und 2,12 Manganoxydul. Das an 100 fehlende besteht zur Hauptsache aus Borsäure.

In Frankreich hat das Zinkoxyd schon fast das Bleiweiß verdrängt. Die Société de la vieille montagne, die zu Angleur bei Lüttich ihren Sitz hat, bereitete 1854 bereits 5 bis 6000 Tonnen Zinkweiß. In Deutschland indessen hat sich die neue Farbe noch nicht überall Bahn gebrochen, hauptsächlich wohl weil der Zinkanstrich mehr Arbeit in Anspruch nimmt. Meistens sind fünf Anstriche nöthig, um eine gleiche Weiße zu erlangen, wie durch einen dreimaligen Bleiweißanstrich. Indessen reicht man wegen des leichteren spec. Gewichts mit dem Zinkweiß doch weiter als mit dem Bleiweiß. Weil das Zinkweiß mehr Oel aufnimmt, so hält es sich im Freien auch besser, aber aus demselben Grunde dunkelt es noch mehr beim Abschluß des Lichtes. — Durch Zusatz verschiedener Metallfarben kann man dem Zinkoxyd jede beliebige Färbung geben, so z. B. grün durch Minnann's-Grün (vergl. Bd. IV. S. 289), blau durch Ultramarin, gelb durch Schwefelcadmium oder chromsaures Zinkoxyd, orange durch Schwefelantimon, schwarz durch Kienruß &c.

Um Zinkoxyd auf nassem Wege darzustellen zerlegt man eine Auflösung von schwefelsaurem Zinkoxyd durch kohlensaures Natron. Der Niederschlag, das kohlensaure Zinkoxyd, wird nach dem Trocknen in einem Tiegel erhitzt und dadurch die Kohlensäure und das Wasser ausgetrieben. Gießt man eine Auflösung von kauftischem Alkali in eine Zinksalzlösung, so erhält man einen weißen Niederschlag (Zinkoxydhydrat $\text{ZnO} \cdot \text{HO}$), der einen Theil des Alkali mit einer gewissen Hartnäckigkeit festhält und beim Erhitzen das Wasser gleichfalls fahren läßt. In Kali, Natron, Ammoniak und kohlensaurem Ammoniak ist das frisch gefällte Hydrat löslich.

Das künstlich bereitete Zinkoxyd ist eine weiße, lockere, leichte, lose zusammenhängende Masse, die beim Erhitzen gelb, beim Erkalten aber wieder weiß wird. Eine bleibende schwach gelbliche Farbe rührt indessen nicht immer von einer Verunreinigung durch Eisen oder Cadmium her. In der Regel tritt diese Färbung bei dem auf nassem Wege bereiteten Zinkoxyd auf und kann auch aus physikalischen Ursachen abgeleitet werden; auch soll ein gelbes Oxyd, wenn es aus kohlensaurem Zinkoxyd bereitet worden ist, stets noch Kohlensäure enthalten. Ist die gelbe Farbe des Zinkoxyds nicht in einer Verunreinigung begründet, so kann sie beseitigt werden durch eine Erhitzung, welche derjenigen gleich ist oder nahe kommt, bei der das Zinkoxyd auf trockenem Wege gebildet wird. Eine Verunreinigung durch Cadmium läßt sich überdies sehr leicht in dem Zinkoxyd entdecken. Leitet man Wasserstoff darüber, so wird letzteres nicht reducirt, wohl aber das Cadmiumoxyd das sich an den kälteren Theilen der Glasröhre als ein spiegelnder Ring ansetzt. Auf diese Art will Burredwill noch $\frac{1}{10000}$ Cadmiumoxyd in Zinkoxyd nachgewiesen haben.

Das Zinkoxyd ist nicht flüchtig und kann auch durch Wärme nicht zersetzt werden. In sehr starker Glühhitze schmilzt es zu einem gelben Glase. Frisch

bereitet leuchtet das Zinkoxyd nach dem Glühen einige Zeit im Dunkeln; vor dem Röhrohr leuchtet es mit blendendem Lichte. Spec. Gewicht = 5,6. In Wasser ist das Zinkoxyd nicht löslich und daher geschmacklos. Nach Vincan*) ist das Zinkoxyd bald in Wasser löslich, bald unlöslich; es erfordert aber mindestens Millionen Theile Wasser zur Lösung und diese reagirt auf Lackmus. In ägenden Alkalien ist das Zinkoxyd auflöslich und vertritt hier die Stelle einer Säure. Sonst ist das Zinkoxyd eine Base und zwar eine sehr energische. Sie bildet mit den Säuren farblose Salze, wenn anders nicht die Säuren selbst gefärbt sind. Die Salze sind isomorph mit den Magnesia-, Eisenoxydul-, Kobalt- und Nickel-oxysalzen. Die Lösungen dieser Salze werden durch Kali, Natron und Ammoniak weiß gefällt und der Niedererschlag in einem Ueberschuß des Fällungsmittels wieder aufgelöst. Die kohlensauren Alkalien bewirken gleichfalls einen weißen Niedererschlag, ebenso Kaliumeisencyanür und phosphorsaures Natron. Schwefelwasserstoff bewirkt in den Zinksalzlösungen keinen Niedererschlag, wenn sie zugleich einen Ueberschuß an Säure enthalten; Schwefelammonium bewirkt jedoch einen weißen Niedererschlag. Die in Wasser löslichen Zinksalze besitzen einen herben, metallischen Geschmack. Die wichtigsten Zinksalze sind das schwefelsaure und das kohlensaure Zinkoxyd.

Das schwefelsaure Zinkoxyd ($\text{ZnO} \cdot \text{SO}^2 \cdot \text{HO} + 6 \text{ aq.}$), der Zink- oder weiße Vitriol- oder Galigenstein ist schon seit dem 14. Jahrhundert bekannt. Man bereitet dasselbe im Großen durch Rösten der Zinkblende, Auslaugen der Masse mit Wasser und Abdampfen der Lauge. Das krystallisirte Salz schmilzt man in seinem Krystallwasser, schöpft die Unreinigkeiten ab, gießt die geschmolzene Masse aus und rührt sie bis zum Erkalten um. Dann erhält man dieses Salz auch als Abfall bei der Darstellung des Wasserstoffs oder direct durch Auflösen von Zink in verdünnter Schwefelsäure.

Der Zinkvitriol krystallisirt in farblos durchsichtigen geraden rhombischen Säulen. Die Krystalle verwittern langsam an der Luft, geben hierbei 6 Aeq. Wasser ab und zerfallen zu Pulver. Beim Erhitzen geht auch das letzte Aeq. Wasser fort. Bei stärkerem Erhitzen entweicht auch die Schwefelsäure zum Theil unzerlegt, zum Theil als schweflige Säure und Sauerstoff, während Zinkoxyd zurückbleibt. Glüht man den Zinkvitriol mit Kohle, so wird er zu Schwefelzink reducirt. Die Krystalle des Zinkvitriol lösen sich in dem 2 bis 3fachen Gewicht Wasser auf; bei 100° ist die Auflöslichkeit eine unendliche, da bei dieser Temperatur die Krystalle in ihrem Krystallwasser schmelzen.

Der Zinkvitriol wird bei der Firnißbereitung und in der Rattendruckererei benutzt, so wie ferner in der Medizin und zur Darstellung verschiedener anderer Zinkpräparate. Man benutzt ihn auch zum Desinficiren der Kloaken und zum Conserviren von thierischen Substanzen (anatomischen Präparaten), sei es, daß man sie in Lösungen des Zinkvitriols aufbewahrt oder mit diesen die Adern ausspriht.

Neutrales kohlensaures Zinkoxyd ($\text{ZnO} \cdot \text{CO}^2$) kommt als Zinkspath oder edler Galmey in der Natur vor. Will man diese Verbindung künstlich darstellen, so läßt man eine Auflösung von kohlensaurem Zinkoxydhydrat in kohlensäurehaltigem Wasser freiwillig verdunsten. Fällt man eine Auflösung von schwefel-

*) Compt. rend. T. XLII. p. 309.

saurem Zinkoxyd oder irgend einem anderen Zinksalz mit einer Lösung von kohlensaurem Alkali, so erhält man kohlensaures Zinkoxydhydrat ($\text{ZnO} \cdot \text{CO}_2 + 2 \text{ZnO} \cdot \text{HO}$). Aus dieser Verbindung wird zum Theil durch Glühen Zinkoxyd bereitet oder es dient selbst statt des Bleiweißes als Anstrichfarbe.

Salpetersaures Zinkoxyd ($\text{ZnO} \cdot \text{NO}_3$) erhält man durch Auflösen von Zink oder kohlensaurem Zinkoxyd in verdünnter Salpetersäure. Das Salz krystallisirt in wasserhellen, gestreiften, gedrückten 4seitigen Säulen, die an der Luft zerfließen. — *Parreswil* schlägt das chromsaure Zinkoxyd zum Gelbfärben von Zeugen vor. Man löst das Salz in Ammoniak auf, färbt damit aus und legt die Zeuge einer mäßigen Wärme aus. Mit der Verflüchtigung des Ammoniaks erzeugt sich das chromsaure Zinkoxyd wieder und bleibt dann als gelbe Farbe im Zeuge. — Das chromsaure Zinkoxyd wird neuerdings auch anstatt des Chromgelbs als Malerfarbe gebraucht.

Das Zinksuperoxyd (ZnO_2) entsteht nach *Ihénard* durch Behandeln des Oxydhydrates mit Wasserstoffsuperoxyd. Es ist ein weißes Pulver, das sich selbst überlassen sehr bald zerlegt und mit Säuren übergossen wieder Wasserstoffsuperoxyd bildet.

Schwefelzink (ZnS), das in der Natur so häufig als Blende vorkommt, läßt sich künstlich nur schwierig durch Erhitzen von Zink und Schwefel erhalten. Das auf nassem Wege erhaltene Schwefelzink enthält Wasser. — Durch gasförmigen Chlor wird das Zink leicht angegriffen; man erhält eine weiße, butterartige krystallinische Masse, weshalb das Zinkchlorid (ZnCl) auch Zinkbutter genannt wird. Man erhält diese Verbindung ferner, wenn man ein Gemisch von trockenem Kochsalz und trockenem Zinkvitriol der Destillation unterwirft. Die Zinkbutter schmilzt bei 100° und ist bei Rothgluth flüchtig; destillirt also über. In Wasser ist sie leicht löslich, zerfliehet selbst an der Luft und ist auch in Alkohol löslich. Letzterer wird dann mit der Zeit in Aether verwandelt. — Eine Auflösung von Chlorzink in Wasser erhält man durch Auflösen von Zink in Wasser. Erhitzt man eine concentrirte Lösung desselben, so beobachtet man, daß der Kochpunkt allmählig bis auf 250° steigt. Man benützt daher eine solche Lösung anstatt des Oeles als Bad, um organische Substanzen längere Zeit auf einer bestimmten Temperatur zu erhalten. Man benützt das Chlorzink ferner in der Färberei, mit Tischlerleim gemischt zur Fabrication von Vogelleim und zur Conservation des Holzes (der Telegraphenstangen und Eisenbahnschwellen). Das Chlorzink wird ferner beim Löthen, Verzinnen und Verbleien von Kupfer und Eisen verwendet. Das hier gebräuchliche Löthwasser ist eine Auflösung von Zink in concentrirter Salzsäure, welcher Lösung man ebenso viel Salmiak zusetzt, als Zink darin enthalten ist. Diese Flüssigkeit reinigt die Oberfläche der Metalle bei gelinder Wärme sehr leicht von Oxyd und bewirkt dadurch die Ausbreitung des flüssigen Metalles auf dem festen. — *Parreswil* hat beobachtet, daß schwedisches Papier, also Cellulose, durch Chlorzink erst in Zucker und dieser dann weiter verwandelt wird. Kurz nach der Berührung mit Chlorzink wird das Papier durch Jod gebläut. Ueberhaupt verhält sich das Chlorzink, sowohl in trockner Gestalt, als auch in höchst concentrirter Lösung in vielen Fällen gegen organische Substanzen wie concentrirte Schwefelsäure. *Wagner* schlägt daher die Anwendung desselben statt der letzteren bei der Räuterung des Rüboles und der Vereitung des Garancin vor. Am besten würde man das Chlorzink im Großen nebenbei in den Soda- und Schwefelsäure-

fabriken bereiten, wenn man die Salzsäure noch warm über gemahlene Zinkblende gehen ließ und den hierbei entweichenden Schwefelwasserstoff zur Schwefelsäurefabrikation benutzte.

Sorel verwendet das Chlorzink zur Darstellung plastischer Massen *), indem er in die 3 Proc. Borax oder Salmiak enthaltende Lösung desselben von 50 bis 60° Raumé Zinkoxyd einrührt. Diese Masse läßt sich gleich dem Gyps in Formen gießen und wird so hart wie Marmor. Frostkälte, Feuchtigkeit, siedendes Wasser sind ohne Einwirkung darauf. Man kann dieser Masse die lebhaftesten und mannichfachsten Farben mittheilen und sie daher zur Anfertigung von sehr dauerhaften Mosaisarbeiten benutzen. Diese Masse dient auch zum Kitt von Eisen und anderen Metallen auf Stein. Wegen ihrer Unlöslichkeit und Unveränderlichkeit wird sie in Paris zum Ausfüllen schadhafter Zähne und zum Anfertigen einzelner Theile der Gebisse verwendet. Ueberzieht man einen Anstrich von Zinkoxyd mit Chlorzinklösung von 25 bis 30° R., so kann man denselben mit Pimstein abreiben und mit Firniß überziehen.

Schulze in Moskau hat zuerst eine Chlorzinkjodlösung als Reagens auf Zellstoff für mikroskopische Untersuchungen in Vorschlag gebracht. Die von Schacht gegebene Vorschrift **) zur Bereitung dieses Reagens führt nach Madefoer nicht immer zum Ziele und hat daher letzterer eine andere Methode bekannt gemacht ***). Zunächst muß man eine Lösung von ziemlich reinem Chlorzink von constanter Concentration bereiten. Zu dem Ende wird Salzsäure mit einem Ueberschuß von Zink behandelt, so daß der Ueberschuß des letzteren die dem Zink beigemengten Metalle herausfällt. Die Lösung dampft man bis zu einem spec. Gew. = 2,0 ein und verdünnt sie dann wieder bis auf 1,8 spec. Gew., d. h. man versetzt 100 Th. der Lösung mit 12 Th. Wasser. In 100 G.-Th. dieser Flüssigkeit löst man unter gelindem Erwärmen 6 G.-Th. Jodkalium und fügt dann einen Ueberschuß von Jod hinzu, bis dieses nicht mehr gelöst wird und über der Flüssigkeit violette Dämpfe bemerkbar werden.

Das Reagens ertheilt den pflanzlichen Zellstoffmembranen eine violette oder blaue Farbe, ohne sie allmählig zu lösen. Die Faser der rohen Baumwolle wird dadurch blauviolett gefärbt, das Parenchym des Aloeblattes rein und tief blau. Beim Gebrauch dieser Flüssigkeit ist es nothwendig, die mikroskopischen Objecte zuvor mit Wasser zu durchfeuchten. Die Lösung selbst muß gut verschlossen aufbewahrt werden, weil sie sonst Jod verliert.

Ueber Phosphorzink s. Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. C. S. 99.

Zur Erkennung des Zinks in Lösungen dient besonders das schon angegebene Verhalten gegen Schwefelwasserstoff und Schwefelammonium. Vor dem Löthrohr läßt sich das metallische Zink leicht entzünden; es beschlägt dann die Kohle gelb und diese Farbe ändert sich nach dem Erkalten in weiß um. Befeuchtet man Zinkoxyd mit salpetersaurer Kobaltoxydlösung, so nimmt es beim Glühen eine grüne Farbe an. — Quantitativ bestimmt man das Zink durch Fällen mit kohlensaurem Natron. Der Niederschlag wird mit kochendem Wasser ausgewaschen und geglüht, wodurch es in Zinkoxyd verwandelt wird. Von den alkalischen Erden trennt man

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXIX. S. 130.

**) Das Mikroskop und seine Anwendung. Berlin 1851. S. 31.

**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIV. S. 332.

das Zink durch Schwefelammonium, ebenso von der Magnesia, doch muß hier ein Ammoniaksalz zugegen sein, damit nicht die Magnesia durch das Ammoniak gefällt werde. Letzteres dient zur Trennung des Zinks von der Thonerde; dieses wird gefällt, das Zinkoxyd aber ist in einem Ueberschuß des Fällungsmittels löslich. Die Fällung des Eisens wird ganz auf dieselbe Weise bewirkt, nachdem jenes in Oxyd verwandelt worden ist. Die Trennung vom Mangan wird durch Nachfall bewirkt, in welchem das Zinkoxyd löslich ist. Das ausgefällte Manganoxyd enthält aber noch Zinkoxyd, weshalb die Fällung des ersteren öfters wiederholt werden muß. Cadmium wird aus einer Lösung von Natronlauge und Weinsäure durch Kochen als Cadmiumoxydhydrat vollständig und frei von Alkali gefällt, während Zink gelöst bleibt. Man hat aber möglichst neutrale Lösungen in Salz- und Salpetersäure anzuwenden und diese mit vielem Wasser zu verdünnen, denn sonst fällt das Cadmium nicht vollständig heraus.

Schaffner hat *) eine Methode angegeben, die dem praktischen Hüttenmann die Mittel bietet, seine Erze und Hüttenproducte, wenn auch nicht mit der äußersten, so doch hinreichenden Genauigkeit auf ihren Gehalt an Zink zu prüfen. Das Princip ist die leichte und vollständige Auflöslichkeit des Zinkoxydes in kohlensaurem und kohlensaurem Ammoniak und die Fällbarkeit aus dieser Lösung durch Schwefelnatrium. Aus der verbrauchten Menge der letzteren kann man den Zinkgehalt berechnen. Um genau zu erfahren, daß genügend von dem Fällungsmittel zugelegt sei, thut man zu der ammoniakalischen Lösung einige Tropfen Eisenchloridlösung hinzu, wodurch ein voluminöser rother Niederschlag von Eisenoxydhydrat entsteht, der sofort schwarz wird, sich also in Schwefeleisen verwandelt, sobald das Zink ausgefällt ist. Mohr hat jedoch diese Methode verworfen, während Schaffner deren Brauchbarkeit behauptet, sobald man die Zinklösung so weit verdünnt, daß das Schwefeleisen aus dem Schwefelzink rasch zu Boden fallen kann.

W. B.

Zinn (lat. stannum, franz. étain, engl. tin). Chem. Zeichen: Sn. Äquivalent: 735,29 ($O = 100$) oder 58,92 ($H = 1$).

Es ist zweifelhaft, ob das Zinn schon in den früheren Zeiten des Alterthums bekannt war. Das Bedil der Hebräer wird in der ältesten griechischen Uebersetzung des alten Testaments zwar häufig mit *κασσίτερος* (Zinn), aber auch mit *μολβος* (Blei) übersetzt. Zudem ist zweifelhaft, was die Griechen zu jener Zeit unter *κασσίτερος* verstanden haben. Bei Aristoteles scheint dies Wort eine zinnhaltige Legirung zu bedeuten, sicher aber wird im 1. Jahrhundert unserer Zeitrechnung Zinn damit gemeint. Dasselbe bedeutet auch *plumbum candidum* oder *album* bei Plinius, während dieser Schriftsteller die Bezeichnung *stannum*, welche später allgemein für Zinn gebraucht wurde, verschiedenartigen Metalllegirungen beilegt. Zu Plinius' Zeiten war auch bereits das Verzinnen kupferner Geräthe bekannt. Weber kannte die hauptsächlichsten Eigenschaften des Zinnes genau.

Gediegen kommt das Zinn in der Natur nicht vor oder wenigstens ist das Vorkommen sehr zweifelhaft. Hauptsächlich findet sich das Zinn oxydirt als Zinnstein (Zinnerz, Zinngrauen, Zinnzwitter), als reines oder fast reines Zinnoxid (SnO_2 mit 79 Proc. Zinn); der safrige Zinnstein oder das Holzzinn (coontisches

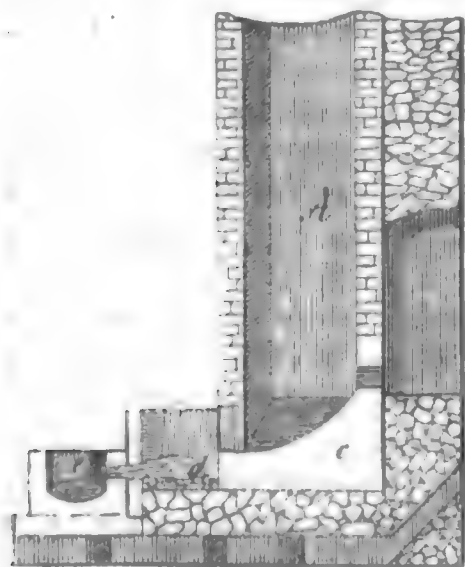
*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLIII. S. 263.

Zinnerz, Eisenzinnerz) enthält bis 9 Proc. Eisenoryd. Außerdem kommt das Zinn auch noch als Schwefelzinn in Gemeinschaft mit anderen Metallen in Zinnfies [(2 Cu² S + SnS²) + 2 (TeS, ZnS). SnS² mit 26 bis 29 Proc. Zinn] vor.

Das Zinn wird nur aus dem Zinnstein gewonnen. Dieses Mineral findet sich nur in den ältesten Formationen. Es bildet kleine Gänge oder unregelmäßige netzförmige Haufwerke im Granit. Oft auch findet man das Erz in dem Sande, der aus der Zertrümmerung dieser Felsen entstanden ist. Die Hauptfundstätten des Zinnsteines sind Sachsen, Böhmen, England (Cornwall) und Ostindien. Daß in der Bretagne gleichfalls ein Zinnstein führender Sand vorkommt, war schon seit längerer Zeit bekannt. Neuerdings hat man das Zinnstein führende Alluvium, das in der Loire-Inferieure und dem Morbihan liegt, genauer erforscht. Fast auf der ganzen Küstenzone, welche die Mündung der Loire und der Vilaine trennt, enthält der oberflächliche Absatz Zinnstein und zwar oftmals so reichlich, daß er an gewissen Punkten ausgebeutet werden kann. Ebenso findet er sich auf und um den Granit zwischen den Thälern Oust und Glave, etwas südlich von Josselin im Morbihan. Fast überall in der Bretagne ist der Zinnstein von Goldkörnern begleitet. Ein Kubikmeter Sand von Viriac, Brestin und aus der Gegend von Josselin enthält gegen 10 bis 15 Kgrm. Zinnstein und 1/2 Grm. Gold.

Der sogenannte aufgeschwemmte Zinnstein ist so rein, daß er direct mit Kohle verschmolzen werden kann. Er liefert fast chemisch reines Zinn, das unter dem Namen Banca-, Malacca- oder englisches Zinn in den Handel kommt. Weniger rein ist der gewöhnliche Zinnstein, der auf Lagern, Stockwerken, Gängen im Granit und Syenit oder auf secundärer Lagerstätte, den Seifenwerken oder Zinnseifen, wie man Ablagerungen verschiedener Gerölle, besonders von Kieseln mit Zinnsteingeröllen nennt, vorkommt. Er enthält neben Zink, Eisen, Kupfer und anderen Metallen noch Schwefel und Arsenik. Das Erz wird zuerst gepocht und dann geschlämmt, um die Bergart zu entfernen. Der Zinnstein selbst ist so hart, daß er selbst beim Pochen nicht zerkleinert wird, sondern nur die Bergart, und

dann ist jener wieder so schwer, daß er sich beim Schlämmen sehr rasch zu Boden setzt. Aus beiden Gründen kann selbst ein Erz verarbeitet werden, das nur 1/2 Proc. Zinnoryd enthält. Nun wird das Erz geröstet, entweder in Haufen oder in Oefen, um es von Schwefel, Arsenik und Antimon zu befreien. Durch abermaliges Pochen und Waschen erhält man so reiche Erze, die oft mehr als 50 Proc. Zinn liefern.



Zu Altenberg wird das geröstete Zinnerz in einem Schachtofen (i. nebenstehende Figur), dessen Wände aus Granit aufgebaut sind und der auf einem Marmorwerke von Gneuß ruht, mit Kohlen geschichtet, verschmolzen. Das reducirte Metall geht aus dem Schacht A in den Vorherd d und sammelt sich hier an, bis es in den Kessel e abgelassen wird. Die Verbrennung der Kohlen wird durch ein Gebläse befördert und durch das hierbei entstehende Kohlenoxydgas wird das Zinnoryd reducirt. Die noch anhängende

Bergart ist in der Regel leicht schmelzbar und geht mit dem flüssigen Metall nach d, von wo man sie zeitweise entfernt. In dem Kessel e rührt man das flüssige Metall öfters mit einem Holzstab um, der zum Theil verkohlt, wobei eine Gasentwicklung stattfindet. Durch die aufsteigenden Gasblasen wird noch mancherlei Unreinigkeit an die Oberfläche geführt, so wie auch etwaiges Zinnoryd reducirt. Die oberen Schichten sind die reineren, die unteren sind namentlich durch Eisen und Arsenik verunreinigt. Durch Umschmelzen (Ausfaigern) auf einem Herde, der mit glühenden Kohlen bedeckt ist, wird das Zinn von den fremden Beimengungen befreit, indem das Zinn zuerst schmilzt und auf dem geneigten Herde abfließt. Das so umgeschmolzene Zinn führt den Namen Körnerzinn und enthält kaum $\frac{1}{10}$ Proc. an fremden Beimengungen. Der schwerer schmelzende Rückstand wird auch umgeschmolzen und kommt als Blockzinn in den Handel. — Die Schlacken halten stets eine bedeutende Menge Zinn zurück. Die reichhaltigen werden wiederum mit dem Erz verschmolzen, die ärmeren aber erst gepocht und geschlämmt.

Um chemisch reines Zinn zu erhalten, oxydirt man das käufliche durch Salpetersäure. Um sicher alle fremden Beimengungen zu entfernen behandelt man das Zinnoryd mit Salzsäure und reducirt es dann mit Kohle.

Das Zinn nähert sich in seiner Farbe und seinem Glanz fast dem Silber, indessen hat erstere doch einen kleinen Stich ins Bläuliche. Den Glanz behält das Zinn an der Luft ziemlich lange, doch überzieht es sich mit der Zeit mit einer grauen Haut von Drydul. Auf geschmolzenem Zinn bildet sich diese Haut (Zinnasche) in einem stärkeren Maße. Je höher die Temperatur, um so rascher schreitet die Oxydation vor, so daß das Zinn bei Weißglühhitze mit weißer Flamme verbrennt. — Reibt man das Metall einige Zeit, so nimmt man daran einen eigenthümlichen Geruch wahr. Wieg man das Zinn hin und her, so hört man ein eigenthümliches Geräusch, das sogenannte Schreien oder Knirschen des Zinnes, das davon herrührt, daß die einzelnen Theilchen des innern krystallinischen Gefüges sich an einander reiben. Wiederholt man das Wiegen öfters, so entsteht hierbei eine Wärme, die sich der Hand sehr bemerkbar macht. Ebenso bricht das Zinn bei mehrmaligem Hin- und Herblegen und zeigt dann einen harten Bruch. Das Zinn ist sehr dehnbar und zwar bei 100° mehr als bei gewöhnlicher Temperatur. Man kann das Zinn zu dünnen Blättern (Stanniol, Zinnfolie) auswalzen. Bei sehr großer Dünne (0,001 Zoll) führt es mit Zink legirt den Namen unächtes Silber oder Schlag Silber. Indessen besitzt das Zinn keine große Festigkeit; ein Draht 2^{mm} Durchmesser reißt bei einer Belastung von 28 Pfd.

Das Zinn ist so weich, daß es mit dem Messer geschnitten werden kann; der Härte nach steht es zwischen Blei und Gold. Das spec. Gewicht beläuft sich bei 15° auf 7,29 und des gewalzten auf 7,475. Für das im Handel vorkommende Zinn dient das spec. Gew. zur Beurtheilung der Reinheit. Da das spec. Gew. der das Zinn verunreinigenden Metalle ein größeres ist, so ist das Zinn um so reiner, je mehr sich das spec. Gew. dem angegebenen näherte. Beim Erwärmen bis 100° dehnt sich das feine englische Zinn um 0,0022833 und das gewöhnliche um 0,0024833, d. h. durchschnittlich etwa um $\frac{1}{400}$ aus. Das Zinn schmilzt bei 230°; in der Weißglühhitze stößt es weiße Dämpfe aus. Es besitzt eine große Neigung zum Krystallisiren. Man kann sehr leicht die krystallinische Textur bloßlegen, wenn man die Oberfläche mit Säuren behandelt. Diese erscheint dann

wegen der ungleichen und verschiedenartigen Brechung, die das Licht auf den Krystallblättchen erleidet, moirirt oder gestammt, weil sich aus der gegebenen Ursache auf der Oberfläche mattere und lichtere Stellen bemerkbar machen. Diese Krystallisation des Zinns tritt durch das schnelle Erkalten des geschmolzenen ein. Dadurch, daß man das verzinnnte Blech mit einem Gemisch von 2 Th. Salzsäure, 1 Th. Salpetersäure und 3 Th. Wasser behandelt, ruft man auf demselben perlmutterartig glänzende Zeichnungen (*moiré metallique*) hervor, eben durch das Bloßlegen der krystallinischen Stellen. — Man kann das geschmolzene Zinn leicht krystallisiren lassen, wenn man mehrere Pfunde davon schmilzt und in einem Gefäße in einem Sandbade langsam erkalten läßt. Sobald die Oberfläche erstarrt ist, wird sie durchstoßen oder mittelst einer glühenden Kohle durchlöchert und läßt man dann das noch flüssige Metall auslaufen. Man findet die Wände des Gefäßes mit zahlreichen Krystallen, die zwar oft sehr groß, aber doch nur selten gut ausgebildet sind, bekleidet.

Ueber eine merkwürdige Structurveränderung von bleihaltigem Zinn berichtet Erdmann *). Bei der Reparatur der aus dem 17. Jahrhundert herstammenden Orgel in der Schloßkirche zu Zeitz bemerkte man bei manchen Pfeifen blasenartige Anschwellungen bis zur Größe eines Ehalers, die sich vom umliegenden Metall durch ihre krystallinische Beschaffenheit unterschieden. Das Metall war hier erblindet, fleckenartig und so spröde, daß es beim Herausnehmen zerbrach. Das Krystallinischwerden der 3,69 Proc. bleihaltigen Legirung rührt wohl von dem fortwährenden Erzittern der Pfeifen beim Tonangeben her. Freilich sind die Ursachen, warum sich die Krystalle gerade an diesen Stellen ausgebildet haben unbekannt.

Buchholz machte zuerst die Beobachtung, daß sich lange, glänzende, prismatische Krystalle von metallischem Zinn bilden, wenn man einen Zinnstab in eine concentrirte Zinnchlorürlösung stellt und diese vorsichtig mit Wasser überdeckt. Will man größere Krystalle erhalten, so muß nach Wöbler die Lösung sauer sein. Von dem eintauchenden Zinn wird stets mehr gelöst, als das auskrystallisirende ausmacht und zwar im Verhältniß von 7:6. Die Krystalle bilden sich an der Berührungsgrenze beider Flüssigkeiten. Ist die Lösung neutral, so erscheinen sie unter dieser in der Chlorürlösung und bleiben klar. — Den sogenannten Zinnbaum — Fällung des Zinn aus einer Zinnchlorürlösung durch Zink — stellte zuerst Ilseman 1786 dar.

In der Rothglühhitze zerzieht das Zinn den Wasserdampf und verwandelt sich in Zinnoxyd. Concentrirte Chlornwasserstoffsäure löst das Zinn unter Wasserstoffentwicklung auf. Verdünnte Schwefelsäure bewirkt dasselbe, jedoch erfolgt die Drydation nur sehr langsam. Concentrirte Schwefelsäure dagegen greift in der Wärme das Zinn heftig an; es entwickelt sich schweflige Säure und das Metall verwandelt sich in schwefelsaures Zinnorydul. Salpetersäure löst das Zinn nicht auf, verwandelt es aber sehr leicht in Dryd; ist die Säure sehr verdünnt, so entwickelt sich hierbei kein Stickstoffoxydgas, sondern, da das Wasser und die Salpetersäure gleichzeitig zerzieht werden, so bildet sich salpetersaures Ammoniak. Ist die Säure sehr concentrirt und besteht sie genau die Zusammensetzung des einfachen

*) Journ. für prakt. Chem. Bd. LII. S. 428.

Hydrates (NO^3 , HO), so wird das Zinn gar nicht angegriffen; es behält seinen Glanz. Aber sobald man nur einige Tropfen Wasser in die Säure gießt, beginnt die Einwirkung und zwar so heftig, daß durch die stürmische Gasentwicklung oft der Inhalt des Gefäßes umhergeschleudert wird.

Königswasser löst das Zinn leicht auf; herrscht hierbei die Salzsäure vor, so bildet sich lösliches Zinnchlorid. Bei Gegenwart kaustischer Alkalien zerlegt Zinn Wasser; es entwickelt sich Wasserstoff und es bildet sich zinnsaures Alkali.

Das Zinn wird zu mancherlei Küchen- und Trinkgeschirren, zu pharmaceutischen Apparaten, Formen für Zucker- und Chocoladenwaaren u. verarbeitet. Gewöhnlich giebt man dem Zinn, um es weniger spröde zu machen, einen kleinen Beisatz (18 Proc.) Blei. Außerdem wird das Zinn noch zu mancherlei Legirungen verbraucht; mit wenig Kupfer, Antimon und Wismuth bildet es das sogenannte Compositionsmetall, das häufig zu Löffeln u. verarbeitet wird. Eine andere Legirung ist das Schnellloth der Klempner; sie besteht aus 2 Th. Blei und 1 Th. Zinn. Nach Johnson erhält man aus 75 Th. Zinn und 25 Th. Antimon ein härteres, zäheres und dauerhafteres Lettermetall als das gewöhnliche. Die Zinnfolie wird vielfach verwendet, sei es zum Belegen der Spiegel oder bei der Verpackung verschiedener Gegenstände.

Eine sehr wichtige Verwendung ist die zum Ueberziehen anderer Metalle, theils bereits fertiger Gegenstände (Gefäße, Bolzen, Nägel, Nadeln u.) oder Bleche, Draht. Dadurch wird das Rosten oder die Oxydation verhindert. Beim Verzinnen ist Hauptbedingung, daß die Oberfläche des zu verzinnenden Metalles rein, d. h. frei von Oxyd sei und daß während des Auftragens des geschmolzenen Zinns die Oxydation desselben verhindert werde. Die zu verzinnenden Gegenstände werden daher stets vor Beginn der Verzinnung sorgfältig gereinigt durch Scheuern, Abschaben oder durch saure Weizen. Colophonium und Salmiak verhindern die Oxydation des Zinns oder richtiger sie reduciren sofort das entstandene Oxyd. Gefäße von Kupfer und Messing lassen sich leicht verzinnen. Man erhitzt sie fast bis zum Schmelzpunkt des Zinns, gießt dann dasselbe geschmolzen ein und verreibt es mit Hilfe eines Büschels Werg (Gede), der mit Salmiak bestreut ist, auf der Oberfläche so gleichförmig als möglich. Kleinere Gegenstände, wie z. B. Nadeln, werden dadurch verzinnt, daß sie einige Stunden lang in einem verzinnten Kessel mit Zinnkörnern und saurem, weinsaurem Kali (Cremor tartari) gekocht werden. Diese Operation heißt der Weiß- oder Zinnsud.

Die Verzinnung des Schmiedeeisens soll zuerst 1620 in Böhmen ausgeführt worden sein. Erst hundert Jahre später wurde sie in England und bald darauf in Frankreich bekannt. Die Verzinnung eiserner Gefäße wird gerade so ausgeführt wie beim Kupfer oder Messing. Eisenblech wird zuerst mit verdünnter Schwefelsäure gebeizt, dann in geschmolzenen Talg und zuletzt in geschmolzenes Zinn getaucht. Hier verhindert der Talg die Oxydation des Zinns. Das überflüssige Zinn wird durch Bürsten entfernt und dann das Blech mit Kleie gereinigt. Um die Weichheit und Leichtflüssigkeit des Zinnüberzuges aufzuheben, soll man nach Budy und Lammatsch dem Zinn $\frac{1}{16}$ Nickel zusetzen. Der theuere Preis des letzteren soll dadurch ausgeglichen werden, daß weniger von der Legirung gebraucht wird. Das Verzinnen des Drahtes wird auf dieselbe Weise bewirkt und das überflüssige Zinn wird dadurch entfernt, daß man den Draht durch ein Blechleisen gehen läßt. Redwood empfiehlt eiserne Gegenstände, die durch Eintauchen in ein Metallbad

verzinnt werden, mit einer durch Salzsäure angesäuerten Chlorzinklösung zu befeuchten.

Zum Verzinnen eiserner Gegenstände auf nassem Wege dient eine Auflösung von $7\frac{1}{2}$ Unze Weinstein (Cremor tartari) in 100 Pfd. Wasser. Diese Auflösung wird durch 1 Unze Schlemmkreide neutralisirt und mit einer Lösung von $3\frac{1}{2}$ Unzen Zinnsalz in 10 Pfd. Wasser vermischt. Das Bad wird nun in einem Zinkgefäß bis auf 57° R. erhitzt und die zu verzinnenden Gegenstände hineingelegt. Die Dicke der Verzinnung hängt von der Dauer des Verweilens im Bade ab.

Ueber die Verzinnung auf galvanischem Wege s. d. Art. Galvanoplastik, Bd. III, S. 404. Rosebur und Voucher wenden als Verzinnungsbad eine Auflösung von 3 Kilgrm. pyrophosphorsaurem Natron und 500 Grm. Zinnchlorür in 200 Lit. Wasser an. Die Verzinnung wird bei einer Temperatur von 80° vorgenommen und zwar ohne eine galvanische Batterie. Letztere wird dadurch ersetzt, daß man neben den zu verzinnenden Gegenständen zugleich Zink in das Bad eintaucht. Nach dem Herausnehmen zeigen die Gegenstände ein mattes Aussehen, welches durch Bearbeiten mit einer Krabbürste von Messingdraht glänzend wird. Die galvanoelektrische Verzinnung hat auch bei dem Gußeisen, das bei dem gewöhnlichen Verfahren keine Spur von Zinn zurückhält, einigen Erfolg gehabt. Man hat auf diese Art sowohl rohes wie polirtes Gußeisen mit Zinn überzogen und namentlich zu Paris kommt solches in den Handel. Es besitzt ein schönes, silberähnliches Ansehen und wird deshalb fonte argentine genannt. Vorzüglich wird es zu Küchengeräthen und Speisegeräthen verarbeitet. Indessen findet keine feste Adhärenz des niedergeschlagenen Zinnes statt, so daß dasselbe nach einem kurzen Gebrauch sich abnutzt und verschwindet. Will man Gußeisen auf gewöhnliche Weise verzinnen, so muß die Oberfläche entkohlt werden. Dies geschieht auf die Weise, daß man die gegossenen Gegenstände in verschlossenen Behältern umgeben mit sauerstoffhaltigen Stoffen, die den Kohlenstoff absorbiren (Eisenoxyd, Hammerschlag, Braunstein) erhitzt.

Das Zinn verbindet sich mit dem Sauerstoff in zwei Verhältnissen zu Oxydul (SnO) und Oxyd oder besser Säure (SnO_2). Beide verbinden sich wieder unter einander und geben so verschiedene Zwischenstufen.

Das Zinnorydul kommt in der Natur nicht vor. Man erhält es als Hydrat von weißer Farbe, wenn man eine Lösung von Zinnchlorür durch kohlen-sauren Ammoniak fällt. Man beobachtet hierbei eine Kohlensäureentwicklung. Kocht man den Niederschlag mit der Flüssigkeit, so giebt das Hydrat das Wasser ab und nimmt eine grauschwarze Farbe an. Daß auf diese Weise bereitete wasserfreie Oxydul zieht aber mit großer Begierde den Sauerstoff der Luft an und verwandelt sich in Oxyd. Ein beständigeres Oxydul erhält man, wenn man die Zinnchlorürlösung durch Aeskali fällt. Der Niederschlag ist gleichfalls Zinnorydulhydrat, aber mit Kali verbunden, gegen das das erstere die Rolle einer Säure spielt. Durch Kochen wird diese Verbindung zerlegt. Man erhält kleine dunkelbraun gefärbte Krystalle von wasserfreiem Zinn, die man an der Luft auswaschen und trocknen und lange Zeit, ohne daß sie sich verändern, aufbewahren kann. Erhitzt man diese Krystalle in einem Oelbade bis auf 250° , so decrepetiren sie plötzlich, nehmen bedeutend an Volumen zu und verwandeln sich in ein Hauswerk von kleinen Krystallen. Eine Gewichtsvermehrung findet hierbei nicht statt, sondern nur eine Bewegung der einzelnen Theilchen, die eben von der Veränderung der Krystall-

gestalt herrührt. Diese Modification des Zinnoryduls erhält man unmittelbar, wenn man die Lösung von Zinnchlorür mit einem Ueberschuß von Ammoniak versetzt und unter der Luftpumpe abdampft. Als rothes Pulver erhält man das Zinnorydul, wenn man die Lösung des Zinnchlorür mit Ammoniak versetzt, kurze Zeit kocht und dann bei gelinder Wärme eindampft. Durch einfaches Reiben mit einem harten Körper verwandelt sich diese rothe Modification in die braune.

Erhitzt man das Zinnorydul an der Luft, so verwandelt es sich unter Erglühen in Dryd. In Aegalkali ist das Zinnorydul löslich. Beim Kochen einer solchen Lösung wird das Zinnorydul zerlegt in Metall, welches sich ausscheidet und in Zinnsäure, die sich mit dem Alkali verbindet ($2(\text{KO. SnO}) = \text{Sn} + \text{KO. SnO}_2 + \text{KO}$). In Säuren ist das Zinnorydul ebenfalls löslich und bildet mit jenen meist farblose Salze, die sich im Allgemeinen sehr leicht zerlegen. Man kennt nur eine geringe Zahl von diesen Salzen, die einen widerlichen metallischen Geschmack besitzen und das Lackmuspapier röthen. Schwefelsaures Zinnorydul erhält man, wenn man verdünnte Schwefelsäure mit frisch gefälltem Zinnorydulhydrat sättigt. In der Kälte setzen sich aus der Lösung kleine Krystallblättchen (SnO. SO_3) ab. In kaltem Wasser ist dies Salz leicht und ohne Veränderung löslich, beim Erwärmen aber zerlegt es sich. Die Doppelsalze mit den schwefelsauren Alkalien, die man krystallisiren kann, sind beständiger. Salpetersaures Zinnorydul bildet sich, wenn man frisch gefälltes Zinnorydulhydrat in verdünnter Salpetersäure auflöst. Sobald man aber das Salz durch Abdampfen abscheiden will, zerlegt es sich zu Dryd. Ein kohlensaures Salz ist nicht bekannt.

Weil die Zinnorydulsalze so leicht Sauerstoff anziehen, werden sie als Reductionsmittel gebraucht. Sie fällen die edlen Metalle, Gold ausgenommen, metallisch aus ihren Lösungen. Das Gold wird purpurfarbig niedergeschlagen. Schwefelwasserstoff bewirkt in den Lösungen dieser Salze einen dunkelbraunen Niederschlag, der in Schwefelammonium nur dann leicht auflöslich ist, wenn dasselbe einen Ueberschuß an Schwefel enthält. Ferrochankalium, Aegkali, Aegammoniak und kohlensaures Ammoniak geben weiße Niederschläge, von denen der durch Kali entstandene im Ueberschuß des Fällungsmittels löslich ist. Goldlösung bewirkt einen purpurfarbigen Niederschlag.

Das beim Schmelzen des Zinns entstehende Drydul, die sogenannte Zinnasche wird zum Bugen und Poliren metallener Geräthe gebraucht. Aber sie konnte nur mit Schwierigkeit so fein geschlemmt werden, daß man sie mit Sicherheit zu feinen Arbeiten benutzen konnte. Um sehr fein zertheiltes Zinnorydul darzustellen, verfährt man nach Vogel jun. auf folgende Weise. Man löst Zinnsalz (Zinnchlorür) in Wasser auf und versetzt die Lösung mit Oxalsäure (1 Th. von dieser auf 2 Th. von jenem). Der entstehende weiße, körnige Niederschlag ist oxalsaures Zinnorydul. Dasselbe wird ausgekocht bis es nicht mehr sauer reagirt. Das pulverförmige, getrocknete, kohlensaure Zinnorydul wird in einem flachen Gefäß unter beständigem Umrühren erhitzt, wobei durch das Entweichen von Kohlensäure und Kohlenoryd eine sehr bedeutende Volumenvermehrung eintritt. Die Zersetzung des Salzes geht bei einer verhältnißmäßig niederen Temperatur, weit unter der Rothglühhitze vor sich und es bleibt ein äußerst zartes, leichtes Zinnoryd zurück. Zuletzt, wenn kein Erglimmen mehr stattfindet, erhitzt man stärker, um die letzten Spuren des Salzes zu zerlegen.

Von dem Zinnoryd oder der Zinnsäure existiren zwei verschiedene Modifi-

cationen, auf die zuerst Berzelius aufmerksam gemacht hat. Das in der Natur vorkommende soll nach H. Rose wiederum eine andere Modification sein. Das a Zinnoryd oder die gewöhnliche Zinnsäure erhält man, wenn man die Auflösung eines zinnsauren Alkalis mit Säure versetzt oder wenn man Zinnchlorid durch kohlensaures Kali fällt. Das auf letztere Art bereitete Oryd ist in Ammoniak unlöslich, das erstere aber löslich. Frisch gefällt ist der Niederschlag weiß, gallertartig, in Wasser unlöslich, aber in verdünnter Schwefel- und Salpetersäure leicht auflöslich. Beim Kochen dieser Lösung wird aber die Zinnsäure wieder ausgeschieden. Beim Trocknen wird sie seidenglänzend und zerreiblich. Unter der Luftpumpe eingetrocknet besitzt sie die Formel $\text{SnO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Schon bei gelinder Temperatur ändert sich die gewöhnliche Zinnsäure in die andere Modification (Metazinnsäure) um, ohne das Wasser abzugeben.

Die gewöhnliche Zinnsäure ist leicht in Alkalkalien auflöslich und bildet damit die zinnsauren Salze des Kalis und Natrons. Läßt man die Lösung unter der Luftpumpe verdampfen, so erhält man schöne, farblose, durchscheinende Krystalle ($\text{KO} \cdot \text{SO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$). Dasselbe Salz erhält man, wenn man Metazinnsäure mit einem Ueberschuß von Alkalkali in einem silbernen Tiegel erhitzt. Die Metazinnsäure wandelt sich hierbei in die gewöhnliche um. Man erkennt sehr leicht den Zeitpunkt, wo diese Umwandlung vollständig vor sich gegangen ist, indem man eine Probe in Wasser löst und viel Salpetersäure hinzugießt. Löst sich der Niederschlag nicht in der sauren Flüssigkeit auf, so ist noch Metazinnsäure vorhanden. Das gewöhnliche zinnsaure Kali zerfällt beim Erwärmen nicht wie das metazinnsaure; es verliert sein Wasser, aber es löst sich ohne Veränderung wieder in Wasser auf.

Zinnsaures Natron kommt jetzt häufig im Handel unter dem Namen Präparirsalz vor und wird in den Färbereien wie Zinnchlorid gebraucht und zwar als Beizmittel, da das Zinnäurehydrat, welches durch Säuren oder Salmiak ausgeschieden wird, mit den Thonerdehydrat die Eigenschaft gemein hat, mit gewissen Farbstoffen unlösliche Verbindungen einzugehen. Man bereitet es auf verschiedene Weise. Man schmilzt z. B. reines Zinn mit Chilealpeter (salpetersaurem Natron) zusammen, löst die Masse auf und läßt sie durch Abdampfen krystallisiren. Oder man schmilzt den in der Natur vorkommenden Zinnstein mit Alknatron zusammen. Oder man kocht Zinn und Bleiglätte oder Mennige mit Alknatronlauge von 15 bis 20° Stärke. Die Bleioryde geben ihren Sauerstoff an das Zinn ab und erleichtern die Oxydation. Ist das Zinn gänzlich verschwunden, so läßt man abkochen und zieht dann die klare Auflösung des zinnsauren Natrons ab. Das abgeschiedene Bleipulver wird durch Erhitzen wieder oxydirt und kann dann wieder gebraucht werden. Die Verhältnisse sind: 16 Pfd. Zinn, 45 Pfd. Alknatronlauge von 39° B., 70 bis 80 Pfd. Bleiglätte oder 54 Pfd. Mennige. Auf diese Art kann man die Abschnitzel von Weißblech, die sich in den Werkstätten zu bedeutenden Massen ansammeln, vortheilhaft verwerthen. Sie enthalten 3 bis 5 Proc. ihres Gewichtes Zinn, das sie beim Kochen mit Natronlauge abgeben. Man thut so lange Schnitzel hinzu bis das Blei völlig reducirt ist; sobald das geschehen, werden die Blechschnitzel nicht mehr schwarz, weil sich eben kein Blei mehr darauf niederschlägt. Dann seibt man die Lauge ab, dampft bis zur Salzhaul ein, um das während des Kochens entstandene kohlensaure Natron abzuschcheiden und kocht dann die abgeseigte Lauge weiter bis zu einem Brei ein. Selbst

aus bleihaltigem Zinn, dem Schnellloth oder mit Zinn belegter Bleifolie, kann man auf diese Art ein bleifreies, zinnsaures Natron darstellen. Diese letzteren Darstellungsmethoden sind sehr wichtig, denn je billiger die zinnsauren Salze geliefert werden, um so mehr kommen sie in der Färberei zur Verwendung und um so allgemeiner werden schöne und ächte Farben auf gedruckten und gefärbten Waaren. In England wendet man in neuerer Zeit ein Doppelsalz von Natron mit Arsen- und Zinnsäure an. Aber dies ist nicht zu empfehlen, weil man beim Drucken und Färben der Baumwollenzuge die Farbennüancen lebhafter und sicherer durch das zinnsaure Natron allein erhält, als wenn darin noch Arsensäure vorhanden ist.

Die Metazinnsäure erhält man, wenn man Zinn mit Salpetersäure behandelt. Das weiße Pulver, das hierbei entsteht, ist ein Hydrat. An der Luft getrocknet besitzt es die Formel $\text{SnO}^2 + 2 \text{HO}$. Bei 100° verliert es ein Aeq. Wasser und wird hierbei vorübergehend gelb; bei höherer Temperatur auch das andere, so daß nun die Metazinnsäure wasserfrei ist. Durch Hitze allein wird der Sauerstoff nicht entfernt, wohl aber bei Gegenwart von Kohle oder brennbaren Gasen wird die Metazinnsäure zu metallischem Zinn reducirt. Die Metazinnsäure ist unlöslich in Wasser, Salpetersäure und in verdünnter Schwefelsäure; in concentrirter Schwefelsäure dagegen ist sie löslich. Durch Wasser wird sie nicht aus der Lösung abgeschieden, wohl aber beim Kochen und zwar als Hydrat ($\text{SnO}^2 + 2 \text{HO}$). Durch Salzsäure wird die Metazinnsäure aufgelöst und in Chlorid (Sn Cl^2) verwandelt.

In den alkalischen Laugen löst sich die Metazinnsäure schon in der Kälte mit Leichtigkeit. Thut man einige Stücke Aekalkali zu der Lösung, so scheidet sich das metazinnsaure Alkali als Krystallkruste aus. Auf einem porösen Stein, der die Mutterlauge einzieht, kann man die Krystalle davon befreien. Die Formel ist KO oder NaO . $5 \text{ SnO}^2 + 4 \text{ HO}$, woraus hervorgeht, daß die Formel der Metazinnsäure $\text{Sn}^5 \text{ O}^{10}$ geschrieben werden muß. Die metazinnsauren Alkalien sind in Wasser ohne Veränderung löslich, aber als Krystalle schießen sie daraus nicht wieder an. Durch Säuren wird die Metazinnsäure als Gallerte aus diesen Auflösungen gefällt und zwar als Hydrat, das mehr Wasser zu enthalten scheint als das mit der Formel $\text{SnO}^2 + 2 \text{HO}$. Jenes Hydrat löst sich in Ammoniak, dieses nicht; aber bei einer Temperatur, die unter der des kochenden Wassers liegt, wird auch jenes in Ammoniak unlöslich. Nach dem Erhitzen der metazinnsauren Alkalien kann man daraus durch Wasser nur Alkali ausziehen, während wasserfreie Metazinnsäure ungelöst zurückbleibt. Durch Glühen mit Alkalien wird letztere in die gewöhnliche Zinnsäure umgewandelt.

Nach einer mikroskopischen Untersuchung der beiden Modificationen der Zinnsäure schließt Wittstein: alles leicht lösliche Zinnoryd sei amorph und alles amorphe Zinnoryd leicht löslich. Dagegen sei alles schwer oder unlösliche Zinnoryd krystallinisch und alles krystallinische Zinnoryd schwer und unlöslich.

Das Zinnoryd macht das Glas undurchsichtig und ertheilt ihm eine weiße Farbe. Man benutzt es daher zur Fabrikation des Milchglases und des Emails. Benetzt man das Zinnoryd mit salpetersaurer Kobaltilösung, so nimmt es, wie das Zinkoryd beim Glühen eine grüne Farbe an.

In den sauren und neutralen Auflösungen der zinn- und metazinnsauren Salze bringt Schwefelwasserstoff einen gelben Niederschlag (Sn S^2) hervor, der sich

leicht in Schwefelammonium auflöst. Kali, Ammoniak, so wie die kohlensauren Salze derselben schlagen aus diesen Lösungen weißes Zinnäurehydrat ($\text{SnO}_2 + 2\text{HO}$) nieder, welches von Alkali leicht, von Ammoniak schwerer und von kohlensauren Alkalien am schwierigsten aufgenommen wird.

Die Metazinnssäure löst sich, wie wir gesehen haben, in concentrirten Säuren und die gewöhnliche Zinnssäure sogar in verdünnten. Beide bilden also wahre Salze, in denen das Zinn die Rolle einer Base spielt. Diese Verbindungen sind aber bis jetzt noch sehr wenig studirt.

Mit dem Schwefel verbindet sich das Zinn in zwei Verhältnissen, die den Sauerstoffverbindungen entsprechen. Einfaches Schwefelzinn (SnS) erhält man durch Zusammenschmelzen von Schwefel mit Zinnseile oder als Hydrat durch Fällen eines Zinnorydulsalzes mit Schwefelwasserstoff. Das Hydrat ist wohl in Salzsäure auflöslich, aber ein kleiner Ueberschuß dieser Säure in einer verdünnten Lösung eines Zinnorydulsalzes verhindert nicht, daß das Zinn vollständig ausgefällt wird. Schmilzt man Schwefel mit Zinn zusammen, so muß man die Masse pulvern und abermals mit einer neuen Menge Schwefel zusammenschmelzen. Man erhält dann metallglänzende, blaugraue Schuppen, die minder leicht als Zinn schmelzen. An der Luft erhitzt verbrennen sie zu schwefliger Säure und Zinnoryd; von Salzsäure werden sie unter Entwicklung von Schwefelwasserstoff zu Zinnchlorür aufgelöst. In den höheren Schwefelungsstufen der Alkalien ist das Einfach-Schwefelzinn gleichfalls löslich.

Nach Schneider erhält man das Zinnsulphuret leicht im krystallinischen Zustande, wenn man eine Zinnorydulösung durch Schwefelwasserstoff fällt und den Niederschlag in schmelzendes, wasserfreies Zinnchlorür einträgt. Man erhält so eine schön dunkelbraune Lösung, aus der beim Erkalten das Einfach-Schwefelzinn in zahllosen, kleinen Blättchen herauskrystallisirt. Durch verdünnte Salzsäure werden sie aus der Chlorzinnmasse erhalten.

Läßt man den Schwefelwasserstoff und die Dämpfe von wasserfreiem Zinnchlorid durch ein rothglühendes Rohr streichen, so setzen sich in diesem sehr glänzende krystallinische Blättchen von Zweifach-Schwefelzinn (SnS_2) ab. Wegen der schönen goldgelben Farbe führt diese Verbindung den Namen Mustergold, Zudengold oder mosaisches Gold. Man benützt sie zum bronze- oder goldfarbigen Anstrich auf Holz, Papier, Gypsfiguren u., indem man sie mit Eiweiß, Firniß oder Lack aufträgt. Man bereitet sie im Großen auf folgende Weise. Man amalgamirt zunächst 12 Th. Zinn und 6 Th. Quecksilber und mischt dann in einem Mörser 7 Th. Schwefelblumen und 6 Th. Salmiak hinzu. Das Ganze bringt man in einen langhalsigen Kolben oder eine Retorte und erhitzt mehrere Stunden lang in einem Sandbade ohne die angehende Rothglühbize zu überschreiten. Hierbei entweichen Salmiak, Zinnchlorür und Zinnober, so wie auch etwas Mustergold, während der größte Theil desselben als eine leichte Masse, ein Hauswerk von kleinen krystallinischen Blättchen auf den Boden zurückbleibt. Die Theorie dieses Vorganges ist ziemlich verwickelt. Schmilzt man fein zerkleint Zinn mit der nöthigen Menge Schwefel zusammen, so erhält man allerdings Zweifach-Schwefelzinn, aber nicht krystallinisches, sondern amorphes und eben nur erstere kann in der Technik Verwendung finden. Erhitzt man diese Schwefelverbindung weiter, so giebt sie Schwefel ab und geht in Einfach-Schwefelzinn über. Dies wird durch

den Salmiak verhindert, der bei seiner Verflüchtigung eine bedeutende Menge Wärme bindet und zugleich die Umbildung des Zweifach-Schwefelquecksilbers in Zweifach-Schwefelzinn, so wie die Sublimation und Krystallisation des letzteren erleichtert. Die Schönheit des Mustergoldes hängt im hohen Grade von der Temperatur ab. Es ist entweder zart goldgelb oder bräunlich gelb. Es färbt ab und läßt sich in die Haut einreiben wie Talk.

Das Zweifach-Schwefelzinn löst sich nur in Königswasser und stehender Schwefelsäure. Gegen Basen tritt es als Sulfosäure auf. Auf nassem Wege erhält man das Zweifach-Schwefelzinn noch als bräunlich gelbes Pulver, wenn man Schwefelwasserstoff durch die Lösung eines Zinkoxydsalzes leitet.

Die Chlorverbindungen des Zinn entsprechen gleichfalls den Sauerstoffverbindungen. Das Zinnchlorür, Zinnsalz, salzsaure Zinnoxydul, Chlorzinn (Sn Cl) erhält man im krystallisirten Zustande als $\text{Sn Cl} + 2 \text{H}_2\text{O}$ durch Auflösen von überschüssigem Zinn in kochender Salzsäure. Beim Abdampfen der Lösung schießen farblose, durchsichtige, nadelförmige Krystalle oder vierseitige Säulen an. In wenig Wasser lösen sich die Krystalle ohne Veränderung auf; nimmt man indessen viel Wasser, so findet eine Zersetzung statt und es scheidet sich ein unlösliches Oxydchlorür ($\text{Sn Cl} + \text{SnO}$) aus. Erhitzt man die Krystalle bis auf 100° , so geht ein großer Theil des Wassers fort; beim Austrocknen wird aber ein Theil des Chlorür zerlegt und es entweicht Chlornasserstoffsäure. In der Rothglühhitze destillirt das Zinnchlorür unverändert über. Mit den Chloralkalien verbindet sich das Zinnchlorür zu leicht krystallisirbaren Doppelsalzen. Es zieht mit Begierde Sauerstoff an, sei es aus der Luft oder aus Oxyden, die es theilweise in Oxydul oder in Metall verwandelt. Ersteres geschieht bei Eisen- und Kupferoxyd-, letzteres bei Silber- und Quecksilberlösungen. Man benutzt daher das Zinnsalz als Reductionsmittel von Indigo, Eisen- und Manganoxyd und als Reizmittel, hauptsächlich zur Darstellung der rothen Farben mit Cochenille in der Färberei.

Für die Bereitung des Zinnsalzes im Großen schlägt Möllner vor die Salzsäure gleich bei der Destillation auf granulirtcs Zinn, das in Vorlagen von Steingut eingefüllt ist, zu leiten und die concentrirte Lösung dann unter Zusatz von Zinn abzdampfen. — In der Schweiz wurde seit mehreren Jahren, zuerst von einer Fabrik in Süddeutschland, ein beispiellos billiges Zinnsalz angeboten, dessen Leistungen sich aber sehr bald als viel geringer darstellten. Nach Bolley fanden sich darin 33,60 Zinkvitriol. Für Färber und Zeugdrucker liegt also die Frage so, ob sie es vorthcilhast finden, zu dem billigen Preise zu kaufen, wo sie statt 100 Pfd. doch nur 66 Pfd. Zinnsalz erhalten und für den Rest, der stets unnütz und in anderen Fällen sogar schädlich ist, doch die Fracht bezahlen müssen.

Wasserfreies Zinnchlorür bildet sich, wenn man trockne, gasförmige Chlornasserstoffsäure über erhitzte Zinnfeile leitet. — Das Zinnchlorür findet eine vielfache Verwendung in der Maßanalyse *).

Zinnchlorid (Sn Cl_2) wurde zuerst von Libavius durch Destillation von Zinnamalgam mit Quecksilberchlorid ($2 \text{Hg Cl} + \text{Sn Hg} = \text{Sn Cl}_2 + 2 \text{Hg}$) dargestellt. Deshalb hieß das Zinnchlorid in früherer Zeit Libavi's rauchender Liqueur (spiritus oder liquor fumans Libavii). Man bereitet es auch auf die Weise, daß

*) Pogg. Ann. Bd. XCII. S. 57.

man Chlorgas in eine tubulirte Retorte leitet, die Zinnfelle enthält. Bei gelinder Wärme destillirt dann das Zinnchlorid in die Vorlage über, die sehr kalt gehalten werden muß. Die Verwandtschaft des Zinn zum Chlor ist so groß, daß, wenn man fein zertheiltes Zinn in ein mit Chlorgas gefülltes Gefäß schüttet, das Metall erglüht. Das auf die letztere Weise bereitete Zinnchlorid ist stets durch überschüssiges Chlor gelb gefärbt. Um dieses zu entfernen destillirt man die Flüssigkeit abermals über Zinnfeile oder Zinnchlorür.

Das Zinnchlorid ist eine farblose Flüssigkeit, die an der Luft dicke, weiße Dämpfe ausstößt. Das wasserfreie Chlorid ist sehr flüchtig und die Dämpfe desselben werden dadurch sichtbar, daß sie Wasser aus der Luft an sich ziehen. Dasselbe besitzt einen erstickenden Geruch. Der Siedepunkt liegt bei 120° . Spec. Gewicht 2,28. Dichte der Dämpfe 9,2. Gießt man einige Tropfen Wasser in diese Flüssigkeit, so hört man ein Geräusch, wie wenn man heißes Eisen in Wasser taucht. Es entwickelt sich hierbei viel Wärme, indem sich das Wasser mit dem Chlorid verbindet. Das Hydrat ($\text{Sn Cl}_2 + 5 \text{ H}_2\text{O}$) scheidet sich in schönen Krystallen ab. — Eine Auflösung von Zinnchlorid bereitet man durch Auflösen von Zinn in Königswasser mit einem Ueberschuß von Salzsäure oder indem man Chlor in eine Auflösung von Zinnchlorür leitet. Das Zinnchloridhydrat löst sich in einer kleinen Menge Wasser auf. Bei Gegenwart von vielem Wasser aber schlägt sich Zinnsäurehydrat nieder. Das Zinnchloridhydrat wird durch die Wärme zersetzt. Es entwickelt sich Chlormwasserstoffsäure und Metazinnsäure schlägt sich nieder. Durch wasserfreie Phosphorsäure oder concentrirte Schwefelsäure wird dem Zinnchloridhydrat das Wasser entzogen, so daß das wasserfreie Chlorid überdestillirt.

Das Zinnchlorid verbindet sich mit vielen Chlormetallen. Diese Verbindungen krystallisiren leicht. Ebenso geht es mit dem Phosphorwasserstoff eine Verbindung ein.

Man benutzt das Zinnchlorid (das salpetersaure Zinn der Färber) ebenfalls in der Färberei als Beizmittel. Die Nützbarkeit desselben für diesen Zweck wurde 1630 von Drebbel erkannt. Man bereitet es durch Auflösen von gekörntem Zinn in Königswasser. Diese Auflösung, die Zinnchlorid und Chlorür enthält, führt in der Färberei auch den Namen Physik oder Composition. Eine Verbindung des Zinnchlorid mit Salmiak ($\text{Sn Cl}_2 + \text{NH}_4 \text{ Cl}$) wird unter dem Namen Winksalz in der Rattundruckerei als Beizmittel benutzt.

Wie man das Zinn in seinen Lösungen erkennt, haben wir schon bei den Drydul- und Drydsalzen angeführt. Bei gleichzeitiger Gegenwart von Arsen und Antimon ist die Nachweisung des Zinn schwieriger. Nach Ansell löst man den zu prüfenden Gegenstand in Salpetersäure und gießt die Lösung in einen Gasentwicklungsapparat. Das Gas leitet man durch eine Bleizuckerlösung und dann in ein Probirröhrchen mit starker Salpetersäure. Dampft man ab, so kann man die arsenige und Arsensäure mit Wasser ausziehen, während die Antimonsäure zurückbleibt. Das Zinn findet man im Entwicklungsapparat. Nach Gleitmann fällt man Antimon und Zinn durch Zink aus einer salzsauren Lösung. Hierbei entwickelt sich Antimonwasserstoff. Bündet man dasselbe an und hält man in die Flamme ein Stück Porzellan, so setzt sich Antimon darauf ab, das durch die Unlöslichkeit in unterchlorigsaurem Natron erkannt wird. Aus dem gefällten Metallpulver löst kochende Salzsäure nur Zinn als Chlorür. Beide Reactionen erleiden durch die Gegenwart von Arsen keine Veränderung. Erhitzt man eine

stark alkalische Antimonlösung mit metallischem Zink, so entwickelt sich reines Wasserstoffgas, bei Gegenwart von Arsen aber Arsenwasserstoff, der durch Silberlösung erkannt wird. Oder man digerirt den Niederschlag durch Schwefelwasserstoff, der zugleich Zinn, Arsen und Antimon enthalten kann, mit kohlensaurem Ammoniak, wodurch Arsen aufgelöst wird. Die Anwesenheit desselben erkennt man, wenn durch Salzsäure in dem Filtrat ein gelber Niederschlag von Schwefelarsen entsteht. Der Rückstand, d. h. das in kohlensaurem Ammoniak nicht Lösliche, wird in Salzsäure aufgelöst unter Zusatz einiger Krystalle von chlorsaurem Kali und die klare Flüssigkeit mit Zink gekocht, um das Zinn und Antimon zu fällen. Zu dem Filtrat setzt man einen Tropfen Salzsäure und einige Tropfen einer Lösung von Quecksilberchlorid. Entsteht dadurch ein weißer Niederschlag (Quecksilberchlorür), so deutet dies die Gegenwart von Zinn an. Hat man es nicht gefunden, so kocht man den gut ausgewaschenen Metallniederschlag mit Salzsäure, bis kein Brausen mehr zu hören ist und behandelt nun das Filtrat, wie eben angegeben. Das Antimon ist in dem gebliebenen Rückstande zu suchen.

Auch das Löthrohr giebt ein Mittel ab, das Zinn zu erkennen und das Schwefelzinn, den durch Schwefelwasserstoff hervorgebrachten Niederschlag, von dem ähnlichen Schwefelarsen und Schwefelantimon zu unterscheiden. Man mengt die Zinnverbindung mit kohlensaurem Natron und Cyankalium und erhitzt dann vor dem Löthrohr auf der Kohle. Man erhält dann, ohne einen gleichzeitigen Beschlag, Körnchen von metallischem Zinn, die sich durch ihre Dehnbarkeit bemerkbar machen. Um die Metalkörner leicht aufzufinden bringt man die geschmolzene Masse mit den umgebenden Kohletheilchen in einen Mörtel, reibt heftig drückend und schlämmt die Kohle fort.

Quantitativ bestimmt man das Zinn stets als Zinnsäure. In solche wandelt man auch das Schwefelzinn um, indem man letzteres mit einigen Tropfen Salpetersäure befeuchtet, in einem Tiegel glüht und zuletzt die Spuren von Schwefelsäure, die sich hierbei gebildet haben könnten, durch gelindes Erwärmen mit kohlensaurem Ammoniak fortischt. — Von den übrigen Metallen läßt sich das Zinn sehr leicht trennen. Hat man es mit den Metallen selbst, also mit Legierungen zu thun, so ist das beste Trennungsmittel die Unlöslichkeit des Zinns in Salpetersäure. Dadurch werden Silber, Kupfer, Blei, Cadmium, Nickel, Kobalt, Zink, Eisen und Mangan getrennt. War Wismuth zugegen, so muß man das Ausfrierwasser mit Salpetersäure versetzen, um die Ausscheidung von basischem Wismuthoxyd zu verhindern. Enthält die Legierung Gold und Platin, so leitet man über dieselbe, nachdem sie fein zertheilt worden, Chlorgas und fängt das flüchtige Chlorzinn für sich auf. Vom Antimon ist das Zinn sehr schwierig zu trennen, da sich beide gegen Reagentien sehr ähnlich verhalten. Aber diese Trennung ist doch vielfach auszuführen, da gerade beide Metalle häufig mit einander legirt werden. Man löst die Legierung in Chlornasserstoffsäure mit Hilfe von chlorsaurem Kali und fällt beide Metalle durch metallisches Zink heraus. Ohne die Chlorzinklösung abzugießen löst man das Zinn auf und fällt es aus der Lösung durch Schwefelwasserstoff. Viele Schwierigkeiten macht auch die Gegenwart des Arsens. Bis zu einem Gehalt von 8 Proc. kann er nicht durch Salpetersäure entfernt werden. Der ganze Gehalt bleibt als Arsensäure beim Zinnoxyd zurück. Das letztere wird nach dem Trocknen durch Wasserstoffgas reducirt und das sich hierbei ver-

flüchtigende metallische Arsenik dem Gewicht nach bestimmt. Das reducirte arsenikbaltige Zinn wird in Chlornasserstoffsäure gelöst und das sich hierbei entwickelnde Arsenwasserstoffgas zuerst durch eine Kalilösung, um die Salzsäure zurückzuhalten und dann durch eine Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd geleitet. Das Arsenik löst sich als arsenige Säure auf, während metallisches Silber gefällt wird. Aus der Silberlösung wird das rückständige Silber als Chlorsilber gefällt. In dem Filtrat wird nun die arsenige Säure durch Schwefelwasserstoff bestimmt, nachdem mit jenem der bei der Auflösung des Zinns bleibende Rückstand, in einigen Tropfen Salpetersäure gelöst, vermengt worden ist. Hat man mit den Oxyden zu thun, so läßt sich das Zinn zunächst von einer großen Zahl durch Schwefelwasserstoff, das man in eine stark salzsaure Auflösung leitet, trennen. Auch von den Metallen, die mit dem Zinn gleichzeitig durch Schwefelwasserstoff gefällt werden, ist im Ganzen die Trennung leicht. Von den Oxyden von Quecksilber, Silber, Kupfer, Wismuth, Blei und Kupfer trennt man das Zinn dadurch, daß man die Auflösung stark mit Ammoniak versetzt und dann einen Ueberschuß von Schwefelammonium hinzufügt. Das Zinn bleibt aufgelöst, während die übrigen Metalle alle gefällt werden.

Für das Probiren der Zinnerze schlägt Levol statt des gebräuchlichen schwarzen Flusses das Cyankalium vor*). Bei diesem erfolgt die Reaction schon in mäßiger Hitze, während man bei jenem zu befürchten hat, daß ein Theil des Zinnoryd sich mit der Kieselsäure oder der Base verbindet und dadurch erst bei sehr hoher Temperatur reducirbar wird.

W. B.

Zirkonium (Chemisches Zeichen: Zr. Equivalent: 419,73 ($O = 100$) oder 33,63 ($H = 1$)) ein Mineral, dessen Sauerstoffverbindung, die Zirkonerde, nur sehr selten in der Natur vorkommt. Klaproth zeigte 1789, daß der Zirkon von Ceylon außer Kieselsäure und sehr wenig Eisenoryd der Hauptsache nach aus einer neuen Erde bestehe, die er Zirkonerde nannte, während Wiegand 1787 bei Zerlegung desselben Minerals statt der eigenthümlichen Erde nur Bitter- und Kalkerde gefunden haben wollte. 1795 wies Klaproth die Zirkonerde auch in dem Hyacinth von Ceylon nach und damit die Identität beider Mineralien, worauf schon Werner hingedeutet hatte.

Das Metall wurde zuerst von Berzelius dargestellt durch Zerlegung des Fluorkalium mittelst Kalium. Zieht man die Masse, nachdem die Einwirkung vorüber, mit Wasser aus, so bleibt ein schwarzes Pulver zurück, das aus einem Gemenge von Zirkonium mit Zirkoniumoxydhydrat besteht. Letzteres wird durch Digeriren mit verdünnter Chlornasserstoffsäure entfernt. Das Zirkonium vertheilt sich im Wasser so fein, daß es mit durchs Filtrum geht. Ein leichteres Absetzen bewirkt man durch einen Zusatz von Chlorammonium, das später durch Auswaschen mit Alkohol entfernt wird. Unter dem Polirstuhl nimmt das Zirkonium ein graphitartiges Ansehen an; gegen Wasser verhält es sich indifferent. Es wird nur durch concentrirte Säuren angegriffen und zwar sehr langsam; durch Flußsäure und ein Gemisch von dieser und Salpetersäure jedoch sehr schnell. Durch Salpeter oder chlorsaures Kali wird es selbst in der Rothgluth nur langsam

*) Ann. de Chim. et de Phys. Janv. 1857 p. 87. — Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLIII. S. 268.

oxydirt, sehr rasch aber durch freie oder kohlensaure Alkalien und selbst durch Borax. Beim Erhitzen an der Luft entzündet es sich weit unter der Glühhitze und verbrennt glimmend zu Zirkonerde. Geschmolzen kann das Zirkonium nicht werden. Es leitet die Elektrizität nicht.

Die einzige Sauerstoffverbindung ist die Zirkonerde (Zr^2O^3), die sich nur in sehr wenig Mineralien findet. Der edle Zirkon oder Hyacinth ($2\text{Zr}^2\text{O}^3 \cdot \text{SiO}^3$) kommt in Krystallen vor (als quadratische Säulen), mit lebhaften Farben (hyacinth-roth, bräunlichroth, ins Pommeranzengelbe, seltener ins Violblaue spielend). Durchsichtig oder durchscheinend; Glas- oder Diamantglas. Nach Richter verliert der Hyacinth im Sonnenlichte seine lebhafteste Farbe und den Diamantglanz, die er beide nur theilweise im Dunkeln wieder erlangt. Er ist aber einer außerordentlich schönen und dauerhaften Politur fähig und deshalb ein geschätzter Edelstein. Außerdem wird er als Unterlage für die Zapfen des Balkens seiner Wagen und als Hülsen benutzt, in welchen, bei astronomischen und andern Uhren, die Spindelenden der Räder laufen. Ehedem wurde der Hyacinth auch als Arzneimittel gebraucht. Theils kommen die Krystalle eingewachsen in Granit, Gneiß, Syenit, Diorit, körnigem Kalkstein, Basalt, Mandelstein oder auch lose in Diluvialablagerungen auf Ceylon, bei Madras, bei Grpailly in Frankreich (Dep. der oberen Loire), bei Vicenza, im Siebengebirge, Sachsen (Hohenstein und Sebnitz), Böhmen (Bilin) und Siebenbürgen (Olavian) vor. Die schönsten und größten Krystalle — bis zu 14 Loth schwer — findet man in Sibirien am Ilmensee. — Der gemeine Zirkon (Zirkonit), gleichfalls quadratische Säulen bildend, besitzt meist trübe, braune und graue Farben, oder auch gelbliche, grünliche oder bläuliche; er ist nur bei helleren Farben fast durchsichtig, sonst nur durchscheinend. Fundorte: außer Ceylon auch Schottland, Vaherjen, Sibirien, Nordamerika. Er kommt auch als bezeichnender Gemengtheil mancher Syenite vor, die deshalb den Namen Zirkonsyenit führen. Namentlich der Zirkonsyenit im südlichen Norwegen ist dadurch ausgezeichnet, daß er eine große Menge von seltenen Mineralien enthält. Man hat bereits 51 Mineralkörper darin gefunden und in diesen wiederum 32 der bekannten Elemente. Nach Daubrée soll der Zirkon in den Syeniten und Graniten der Vogesen sehr verbreitet sein. In Verbindung mit Kieselsäure kommt die Zirkonerde noch im Malakon ($2(\text{Zr}^2\text{O}^2 \cdot \text{SiO}^3) + \text{HO}$) vor. — In dem norwegischen Zirkonsyenit findet sich auch der Polymignit, in welchem die Zirkonerde mit Titansäure verbunden ist; ebenso auch im Derstedtit.

Ein neues bemerkenswerthes Vorkommen der Zirkonerde hat jüngst Schrötter entdeckt*). Am westlichen Abhange der Saualpe in Kärnten findet sich in einer Höhe von etwa 6000 Fuß und in der Nähe des Kupplerbrunnen das nach dem Baron Zoiss Zoissit benannte Mineral in linsenförmigen Ausscheidungen lagerartig in Sklopit, der ein Lager in Gneiß bildet. In demselben befinden sich bisweilen Hyacinthe eingewachsen und deshalb vermuthete Schrötter schon 1829, daß auch der Zoissit selbst Zirkonerde enthalte. Und wirklich wurde diese von Kulesca darin gefunden (2 Proc.). Ob die Zirkonerde hier als Gemengtheil oder als zur chemischen Zusammensetzung des Zoissits gehörend anzusehen ist, kann erst durch weitere Untersuchungen entschieden werden.

*) Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. zu Wien. Bd. XIV. S. 382.

Bei der Darstellung der Zirkonerde glüht man die gepulverten Hyacinthe oder Zirkone in einem silbernen Tiegel mit dem dreifachen Gewicht Kalihydrat. Die Kieselsäure wird dann auf bekannte Weise abgeschieden. Die wässrige Lösung enthält dann die Chlorverbindungen des Zirkonium und des Eisens. Die Dryde beider Metalle werden durch Ammoniak gefällt und der Niederschlag mit Oxalsäure behandelt, wodurch das Eisen gelöst wird, während das oxalsaure Zirkoniumoxyd unlöslich ist. Durch Glühen wird letzteres in reine Zirkonerde verwandelt. Nach Berlin aber ist die allgemein verbreitete Ansicht der Lehr- und Handbücher der Chemie, daß die Zirkonerde durch Oxalsäure vollkommen gefällt werde und in einem Ueberschuß dieser Säure vollkommen unlöslich sei, worauf Dubois und Silveira die eben angeführte Reinigungsmethode dieser Erde von Eisenoxyd gegründet haben, nicht richtig *). Er fand die Zirkonerde aus Zirkonen von Frederiksvaern, Expailly, Orat und Ostindien, so wie die aus den Hyacinthen von Ceylon im Gegentheil sehr leicht auflöslich in Oxalsäure, welches Verhalten zuerst von Sjögren bei der Zirkonerde aus dem Katapleit — einem neuen norwegischen Mineral — beobachtet worden war.

Nach Berlin löst Chlornasserstoffsäure nach dem Schmelzen der Hyacinthe mit kohlensaurem Natron nur sehr wenig Zirkonerde auf, bei 6 Malen kaum 10 Proc., so daß auf diese Art das Eisenoxyd und die Thonerde sehr leicht entfernt werden. Der Rückstand wird mit schwefelsaurem Natron geschmolzen, mit Wasser ausgezogen und die Zirkonerde durch Ammoniak niedergeschlagen.

Nach Wöhler mischt man das sehr fein gepulverte Mineral mit Zucker und verkohlt letzteren durch Erhitzen des Gemenges in einem Tiegel. Die Masse bringt man in ein Porzellanrohr, erhitzt bis zur Rothgluth und leitet dann Chlor darüber. Das Chlorsilicium ist flüchtig, geht also fort, während sich das Chlorzirkonium in den kälteren Theilen des Rohres condensirt. Man löst dann das Chlorzirkonium in Wasser und schlägt die Zirkonerde durch Ammoniak nieder.

Nach Schrötter ist der Zoisit von der Saualpe trotz seines geringen Gehaltes doch ein schätzenswerthes Material zur Darstellung der Zirkonerde. Das Mineral wird durch Schmelzen mit kohlensaurem Kali, welches frei von schwefelsauren Salzen sein muß aufgeschlossen und dann auf gewöhnliche Weise die Kieselsäure und das Nichtaufgeglichene durch Behandlung mit Salzsäure abgeschieden. Die von der Kieselsäure abfiltrirte Lösung wird durch Aetzkali im Ueberschuß gefällt. Der Niederschlag enthält im ungünstigsten Falle $\frac{1}{4}$ seines Gewichtes Zirkoniumoxyd; außerdem besteht er der Hauptsache nach aus Eisenoxyd mit geringen Mengen Kalk, Manganoxydul und Magnesia. Am Vortheilhaftesten löst man diesen Niederschlag in Chlornasserstoffsäure und läßt die Lösung nach dem von Hermann angegebenen Verfahren verdunsten, wodurch das mit 8 Aeq. HO verbundene Drychlorid ($Zr^3 Cl^2 O$) herauskrystallisirt, während in der darüber stehenden Flüssigkeit fast kein Zirkoniumchlorid zurückbleibt. Trocknet man das Drychlorid an der Luft, so geht es in die Zusammensetzung $Zr^3 Cl O^2, Cl H$ über. Die Salzsäure kann man durch vorsichtiges Trocknen entfernen, so daß eine weiße in Wasser unlösliche Masse ($Zr^3 Cl O^2$) zurückbleibt, die dann leicht durch Auswaschen von den noch anhängenden fremden Körpern gereinigt und in Zirkoniumoxydhydrat verwandelt werden kann.

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVII. S. 143.

Das Zirkonerdehydrat ist weiß, geschmack- und geruchlos und unlöslich in Wasser, im feuchten Zustande jedoch leicht in Säuren, kohlensaurem Ammoniak und den doppelt kohlensauren Alkalien auflöslich. Bei gelinder Wärme getrocknet bildet dasselbe, wie das Thonerdehydrat eine gelbliche, hornartige Masse, die beim Erhitzen kurz vor dem Glühen, jedoch nicht immer, eine Feuererscheinung zeigt. — Das Zirkoniumoxyd im reinen Zustande ist gleichfalls ein weißes unschmelzbares Pulver, nach dem Glühen besitzt es eine solche Härte, daß es sogar Glas ritzt. Es ist dann unlöslich in Säuren mit Ausnahme der concentrirten Schwefelsäure. Nach längerer Digestion mit letzterer löst es sich auch in kochendem Wasser. Spec. Gewicht = 4,3 (nach Berzelius), Berlin fand jedoch bei dem durch Glühen des oxalsauren Zirkoniumoxydes dargestellten 4,9. — Svanderberg hat neuerdings angegeben*), daß das, was man bisher für Zirkonerde gehalten hatte, ein Gemenge von mehreren Oxyden noch unbekannter Metalle sei. Berlin konnte jedoch durch fractionirte Fällung einer Auflösung von Chlorzirkonium mit Oxalsäure die Zirkonerde nicht in die von Svanderberg angegebenen verschiedenen Erden zerlegen.

Die Zirkonerde verbindet sich mit Säuren leicht zu farblosen meist basischen Salzen, von denen der größte Theil unlöslich ist. Die neutralen Salze besitzen einen zusammenziehenden Geschmack ohne metallischen Nachgeschmack. Die Lösungen derselben röthen Lackmuspapier. — Mit Chlor verbindet sich das Zirkonium unter Feuererscheinung; desgleichen mit Schwefel. Fernay erhielt Schwefelzirkonium in schönen stahlgrauen Schuppen, als er Zirkonerde in einem Kohlenschiffchen im Schwefelkohlenstoffdampfe glühte. Die Salze der Zirkonerde erkennt man sehr leicht dadurch, daß die Lösungen derselben durch schwefelsaures Kali gefällt werden, indem sich saures schwefelsaures Kali und basisch schwefelsaure Zirkonerde bilden. Eine einfache und charakteristische Reaction für Zirkonerde bildet nach Brusch**) die orangerothe Färbung, welche dem Curcumapapier durch salzsaure Lösungen dieser Erde ertheilt wird. Das Eisen muß jedoch in diesen Lösungen als Chlorür enthalten sein und die Lösung darf natürlich nicht so sauer sein, daß das Papier durch die Säure selbst eine Farbenveränderung erleidet. Ist der Gehalt der Lösung an Zirkonerde sehr gering, so läßt man das Papier $\frac{1}{2}$ bis 1 Minute darin; deutlicher tritt die Reaction hervor, wenn die Lösung warm ist. Die Reaction muß aber sofort beobachtet werden, da sich das Eisen beim Zutritt der Luft oxydirt und das Papier färbt. Diese Färbung war bei einer 3000fachen Verdünnung noch sehr tief und bei einer weiteren 2000fachen konnte die Reaction noch wahrgenommen werden. — Vor dem Löthrohr verhält sich die Zirkonerde wie die Beryllerde, nur löst sie sich etwas langsamer in Borax und giebt mit demselben schneller ein klares Glas.

Von der Thon- und Beryllerde unterscheidet sich die Zirkonerde durch ihre Unlöslichkeit in Kalihydrat, von der Thonerde dadurch, daß die Auflösung der Zirkonerde mit schwefelsaurem Kali einen unlöslichen Niederschlag giebt, während die Auflösungen der Thonerde damit Fällungen geben, die in vielem Wasser löslich sind. Von der Yttererde unterscheidet sich die Zirkonerde dadurch, daß sie nach

*) Pogg. Ann. Bd. LXV. S. 317.

**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXII. S. 7.

dem Glühen nur durch concentrirte Schwefelsäure gelöst wird, während die Otter-
erde selbst dann noch leicht in Säuren löslich ist. W. B.

Bitterfische, s. Fische, elektrische*).

Bodiakallicht, s. Thierkreißlicht.

Bodiakus, s. Thierkreiß.

Bündhölzchen, s. Feuerzeug Bd. III. S. 191, u. Phosphor Bd. V. S. 219.

Bungenpfeife, s. Ton Bd. VI. S. 415

Burückwerfung elastischer Körper, s. Bewegung Bd. I. S. 838 ff.

Burückwerfung des Lichtes, s. Optik, und Licht Bd. IV. S. 523.

Burückwerfung des Schalles, s. Wellenbewegung Bd. VI. S. 924.

Burückwerfung der Wärme, s. Wärme Bd. VI. S. 616, 639 ff.

Zusammendrückbarkeit (Compressibilität) tropfbar flüssiger Körper. Tropf-
bare Flüssigkeiten können durch Anwendung eines äußeren Druckes auf ein kleineres
Volumen gebracht werden. Der nach einer gewissen Richtung ausgeübte Druck
pflanzt sich, wegen der allseitig leichten Beweglichkeit oder Verschiebbarkeit der
Theilchen nach allen Richtungen, gleichmäßig fort, so daß denn auch, wenn die
Flüssigkeit nicht ausweichen kann, eine Compression nach einer Richtung mit einer
gleich starken nach allen anderen Richtungen, und daher mit einer gewissen Ver-
minderung des ganzen Volumens der dem Druck unterworfenen Flüssigkeit verbun-
den ist. In hohem Grade sind bekanntlich die gasförmigen Flüssigkeiten, die mit
den tropfbaren die leichte Beweglichkeit der Theilchen und die Gleichheit der Fort-
pflanzung des Druckes nach allen Richtungen gemein haben, zusammendrückbar.
Die Gase (s. Art. Gas) kehren nun nach Wegfall des äußeren Druckes wieder in
ihr anfängliches Volumen zurück, vorausgesetzt, daß die Compression keine Ver-
änderung des Aggregatzustandes herbeiführt, und auch tropfbare Körper nehmen
ihr früheres Volumen wieder ein, wenn der Druck, der sie comprimirt, wegfällt.
Indirect läßt sich die Compressibilität der flüssigen wie festen Körper aus der That-
sache der Schallfortpflanzung schließen, die bekanntlich auf longitudinalen Schwin-
gungen beruht, welche ohne Compressibilität nicht geschehen können. Alle Körper,
welche den Schall fortpflanzen, müssen daher auch compressibel sein. So schlossen
denn auch schon die Mitglieder der *Accademia del cimento* in Florenz ganz richtig,
daß eine Flüssigkeit, die den Schall fortpflanze, auch zusammendrückbar sein müsse.

Starre Körper pflanzen den Druck vorzugsweise in der Richtung fort, nach
welcher derselbe wirkt, und die Verkürzung einer Dimension ist fast immer mit
einer Verlängerung der darauf senkrechten Dimensionen verbunden, wie umgekehrt
bei einer Zugkraft die Verlängerung einer Dimension von einer Verkleinerung der
darauf senkrechten Dimensionen begleitet ist (s. Art. Elasticität). Man kann
mit Cauchy annehmen, daß jeder vorherrschende Druck oder Zug in zwei Theile
zerfällt, von denen der eine der linearen Veränderung proportional geht, wäh-
rend der andere proportional der kubischen Verdichtung oder Ausdehnung des
starren Körpers ist. Bezeichnet nun w den vorherrschenden Druck oder Zug, ϵ
die lineare Veränderung und v die entsprechende Volumensänderung, so läßt sich
setzen $w = k\epsilon + Kv$, wo k und K , für homogene Körper, zwei Constanten
sind, die nur von der Natur der Substanz abhängen. Denkt man sich einen Cy-
linder mit freier convexer Oberfläche, der nur an seinen Grundflächen einem Druck

*) Vergl. Ber. d. Berl. Acad. 1857 S. 424.

oder Zug unterworfen ist, welcher ihn um die Größe δ verkürzt oder verlängert, so hat man nach Cauchy *) $v = \frac{k}{k + 2K} \delta$. Nach einer Entwicklung von

Poisson (s. Art. Elasticität) ist aber $v = \frac{1}{2} \delta$ und daher $k = 2K$. Indessen ist nach Versuchen von Wertheim **) vielmehr $v = \frac{1}{3} \delta$ und folglich $k = K$, und $w = k(\delta + v)$. Wenn nun P' die Kraft ist, welche, auf die Flächeneinheit, an den beiden Grundflächen des Cylinders wirkt, so hat man $P' = \frac{4}{3} k \delta$, und, wenn man $\frac{P'}{\delta} = q$ setzt, so ist $k = \frac{3}{4} q$.

Denkt man sich nun den Cylinder eingeschlossen in eine Büchse von unausdehnbarer Materie und einem inneren Durchmesser gleich dem des Cylinders, und ist P'' das Gewicht, welches, an der oberen Grundfläche des Cylinders wirkend, eine Verkürzung δ hervorbringt, so hat man $v = \delta$ und $P'' = 2k\delta$. Ist endlich P''' eine Kraft, die gleichmäßig auf die ganze Oberfläche des Cylinders wirkend, dieselbe δ proportionale Verkürzung hervorbringt, so hat man $v = 3\delta$ und $P''' = 4k\delta$. Die gesammten bisherigen Gleichungen drücken nun folgende Gesetze aus.

Wenn ein Cylinder oder Prisma im Sinne seiner Länge gezogen wird, so ist die Volumszunahme auf die Volumseinheit gleich einem Drittel der Verlängerung auf die Längeneinheit. Die Verringerung der Größe des Querschnitts ist gleich zwei Dritteln, und die Verkürzung der Seite des Prismas gleich einem Drittel dieser Verlängerung. Alle diese Größen ändern das Zeichen, sobald der Körper im Sinne der Länge comprimirt wird. Der Elasticitätscoefficient ist aber gleich drei Vierteln des Verhältnisses zwischen der Kraft und der proportionalen Verlängerung oder Verkürzung. — Denkt man sich ein Prisma oder einen Cylinder comprimirt 1) an seine beiden Grundflächen, während seine übrige Fläche frei ist, 2) an einer seiner Grundflächen und eingeschlossen in einer unausdehnbaren Büchse, 3) gleichmäßig an seiner ganzen Oberfläche, so werden sich die Kräfte, welche man anwenden müßte, um in diesen drei Fällen dieselbe Verkürzung im Sinne der Länge zu bewirken, sich verhalten wie $1 : \frac{3}{2} : 3$, und für eine und dieselbe Kraft werden die Verkürzungen sein wie $3 : 2 : 1$.

Diese Gesetze lassen sich aus den Gleichungen des Gleichgewichtes ableiten, die man erhält, wenn man die elastischen Körper als continuirliche Massen betrachtet. Inzwischen hat Cauchy ***) die Werthe von k und K (s. oben) auch unter der Bedingung bestimmt, daß man die Körper, wie gewöhnlich, als ein Aggregat einer großen Anzahl Molecüle betrachtet; und nach den Ermittlungen von Wertheim ****) läßt sich den Versuchsergebnissen und der Theorie Genüge leisten, wenn man setzt, daß die Molecularkraft im umgekehrten Verhältniß mit der vierzehnten Potenz der Entfernung abnimmt.

Die oben aufgestellte Gleichung $k = K$ in Folge des Werthes $v = \frac{1}{3} \delta$ gilt für alle starren Körper, doch wird von Wertheim die Möglichkeit hervor-

*) Exerc. de math. T. III. p. 160.

**) Ann. de Chim. et Phys. Ser. III. T. XXIII. p. 52. Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 381, 476; s. Art. Elasticität.

***) Exerc. de math. T. III. p. 188 u. 213.

****) Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 479 ff.

gehoben, daß diese Gleichung nach der Natur der Substanz geringe Modificationen erleide.

Bei Gelegenheit seiner Untersuchungen über die Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten hat Regnault *) die cubische Zusammendrückbarkeit der von ihm angewandten Gefäße von verschiedener Gestalt und Materie bestimmt, und auch eine Methode angegeben, um die Volumsveränderungen fester Körper und das Verhältniß dieser Volumsverhältnisse zu den entsprechenden Verlängerungen oder Compressionen zu bestimmen. Diese Methode ist auch von Wertheim benutzt worden. Dieselbe besteht in der Anwendung hohler Cylinder, die man der Länge nach einem Zuge aussetzt. Man mißt zugleich die lineare Verlängerung und die Aenderung des inneren Volumens. Die letztere wird mit vieler Genauigkeit durch die Senkung einer Flüssigkeitssäule in einem Haarröhrchen gegeben, welches mit



der Höhlung des Cylinders communicirt. Da der innere Querschnitt dieses letzteren sehr groß ist, so bewirkt die geringste Volumsveränderung eine große Aenderung im Stande der Flüssigkeitssäule. Bei Röhren aus Messing wurde nun z. B. folgendermaßen verfahren. Jede Röhre a war an ihren beiden Enden in zwei weit dickere Stücke b, b' desselben Messings eingeschraubt und festgelöthet. Das untere Stück b' war versehen mit einem großen Gießring, an welchen Lasten gehängt werden konnten. Das obere Stück b besaß einen vorspringenden Rand e und war durch eine Scheibe mit dem Stück d verbunden. Ein zwischengelegtes Leder e diente zur hermetischen Verschiebung dieser Ringe und das Haarröhrchen f wurde in das Stück d eingefittet. Der Versuch geschah auf folgende Weise. Man füllte das Rohr mit wohl von Luft gereinigt m Wasser und schraubte das Haarröhrchen darauf. Man erhitzte nochmals, um die letzten Luftbläschen zu entfernen, die in der Röhre zurückgeblieben sein könnten, und tauchte nun das Ende des Röhrchens in ein mit Wasser gefülltes Gefäß, so daß das Niveau desselben nach der Erkaltung eine gewisse Höhe in dem Haarröhrchen einnahm. Darauf hing man das Stück b an einen soliden Schraubstock, welcher das Ganze umfaßte und wobei der Rand e das Herabgleiten verhinderte, selbst unter der Wirkung starker Belastungen. —

Die Zusammendrückbarkeit des Wassers wurde zuerst von Canton **) durch directe Versuche dargethan. Derselbe brachte das Wasser in ein Glasgefäß, welches aus einer größeren Kugel und einer engen, oben offenen, calibrirten Röhre bestand. Die Theile der letzteren waren, im Verhältniß zum Inhalt der Kugel, durch Wägung mit Quecksilber genau bestimmt worden. Diese Vorrichtung kam unter den Recipienten einer Luftpumpe; die Luft wurde verdünnt und verdichtet, und die Aenderungen im Wasserstande der Röhre, welche hieraus resultirten, an der Bewegung einer kleinen das Wasser begrenzenden Quecksilberquantität beobachtet. Die Kugel der Vorrichtung befand sich in Wasser, um den störenden Einfluß des durch die Verdünnung und Verdichtung der Luft herbeigeführten Temperaturwechsels zu beseitigen. Der Druck der Luft ging bis zu drei Atmosphären. Später

*) Mém. de l'Acad. des Sciences. T. XXI. p. 429.

**) Phil. Transact. for 1761, 1762, 1764.

untersuchte Canton auf diese Weise auch noch andere tropfbare Flüssigkeiten, deren Compressibilität er gleichfalls darthat.

Weiterhin stellte Berkin^s *) Versuche hierüber unter Anwendung starker Druckkräfte an. Die Vorrichtung bestand aus einem gläsernen Cylinder (von etwa 4 Zoll Länge und $\frac{3}{4}$ Zoll Durchmesser), der mit einem genau calibrirten Rohre von 9 Zoll Länge und $\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser verbunden war. Nachdem diese Vorrichtung mit Wasser gefüllt, wurde in das enge Rohr eine Feder geschoben, deren Elasticität gerade so groß war, daß sie sich zwar leicht verschieben ließ, aber ihre Stellung von selbst nicht änderte. Hierauf wurde die Röhre mit einer in sie passenden Stahlscheibe geschlossen, dann das Ganze umgekehrt, und das offene Ende der Röhre in ein Gefäß mit Quecksilber getaucht. Sodann wurde der Apparat in einen Cylinder von Stützgut gebracht, dessen Wände 6 Zoll dick waren und dessen innerer Durchmesser $1\frac{1}{2}$ Zoll betrug, auf den Cylinder einer Stahlpumpe, deren Stiefel $\frac{5}{16}$ Zoll Durchmesser hatte, fest eingeschoben, und durch kräftiges Pumpen das in den Cylinder der Vorrichtung eingeschlossene Wasser comprimirt. Der Grad der Compression wurde an einem Ventil, welches auf einer mit dem Cylinder communicirenden Röhre ruhte, gemessen. Hiernach wurde die Pumpe abgeschoben und die beschriebene Vorrichtung herausgenommen. Der Stand der Feder in der engen Röhre zeigte dann an, um wie viel die Stahlscheibe durch das eindringende Quecksilber gehoben, also das Wasser comprimirt worden war. Die Compression geschah hier stoßweise, was einen zu hohen Stand der Feder veranlassen konnte; auch gewährte die Bestimmung des Grades der Compression durch das Ventil eben keine Genauigkeit. Die Dimensionen der so eben beschriebenen Einrichtung waren für Druckkräfte berechnet, die nicht über 1000 Atmosphären gingen. Um die Wirkung noch stärkerer Drucke zu messen, benutzte Berkin^s eine vollkommen cylindrisch ausgeschliffene, an dem einen Ende durch eine flache eingekittete Glasplatte verschlossene Glasröhre, welche, mit Wasser gefüllt, einem Druck von 2000 Atmosphären ausgesetzt wurde. Als Mittel aus öfter wiederholten Versuchen ergab sich, daß durch einen solchen Druck die 8 Zoll lange Wasseräule um $\frac{1}{12}$ ihrer Länge verkürzt wurde.

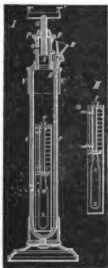
Berkin^s nannte die Vorrichtung zur Bestimmung der Zusammendrückbarkeit tropfbarer Flüssigkeiten *Piezometer*, eine Benennung, welche seitdem Eingang gefunden hat.

Durch Dersted **) erhielten die Vorrichtungen Canton's und Berkin's noch eine weitere Vervollkommnung. Der Apparat, mit dessen Hülfe er die Zusammendrückbarkeit beobachtete und maß, ist in umstehenden Figuren dargestellt. Derselbe besteht wesentlich in einem Compressionsbehälter c c von dickem Glase und einem Behälter mit Haarröhrchen z z, dem sogenannten *Piezometer*. Dersted gab dem letzteren etwa die Gestalt und Größe eines starken cylindrischen Thermometers, aber die Röhre bleibt offen und endet in einen Trichter oder eine kleine Bauchung. Wichtig für die Genauigkeit des Instruments ist es, diese Röhre in gleiche Theile zu graduiren, deren Capacität ein bekannter Bruch der Capacität

*) Phil. Transact. 1820, 1826. Gilb. Ann. Bd. LXXII. S. 173. Pogg. Ann. Bd. IX. S. 347.

**) Denkschr. der Copenhager Soc. 1822. Pogg. Ann. Bd. IX. S. 603; Bd. XII. S. 158, 313; Bd. XXXI. S. 361.

des Cylinders ist. Zu diesem Behufe bestimmt man das Gewicht des im Cylinder enthaltenen Quecksilbers, welches z. B. 1000 Gramm sein mag, und das Gewicht des in einer gegebenen Länge der Röhre enthaltenen Quecksilbers, welches z. B. 2 Decigrammen für eine Länge von 100 Millimeter ist. Dann ist die



1 Millimeter der Röhre entsprechende Capacität, vorausgesetzt, daß die Röhre wohl calibriert ist, 0,000002 der Capacität des Cylinders, und da man bequem halbe Millimeter ablesen kann, entweder auf der Röhre selbst, welche mit einem Diamant graduirt worden, oder auf einem Maßstab, der an sie befestigt ist, so wird man Milliontheile des ursprünglichen Volumens beobachten können.

Will man nun dieses Piezometer benutzen, um die Zusammendrückbarkeit des Wassers zu bestimmen, so füllt man es mit dieser von Luft wohl gereinigten Flüssigkeit, und läßt durch leichte Wärmeveränderungen in die Röhre eine kleine Säule Luft, Quecksilber oder Schwefelkohlenstoff eintreten, welche das Volumen Wasser, gegen welches man overiren will, begrenzt. Ist das Piezometer auf diese Weise angeordnet, so befestigt man an seine Scale ein kleines Luftpneumometer *m m*, d. h. eine cylindrische Röhre von 15 bis 20 Centimeter Länge und 10 bis 15 Millimeter Durchmesser, welche oben verschlossen und unten offen ist. Man bringt es in das Compressionsgefäß (Fig. 1.), welches vorläufig mit Wasser gefüllt ist, indem man alle möglichen Vorsichtsmaßregeln nimmt, damit es keine merkliche Temperaturveränderung erleidet; denn eine Erhebung um einen halben Grad würde vielleicht schon hinreichen, den Index in den Trichter zu bringen und bei ein oder zwei Grad Senkung höchstens würde ein Herabfallen in den Cylinder bewirkt werden. Wird nun die Wassermasse im Behälter zusammengepreßt, so pflanzt sich der Druck auf die im Piezometer enthaltene Flüssigkeit mittelst der Oeffnung des Trichters *t* fort. Man schraubt nämlich die Pumpe *PP'* auf den starken Metallring *VV'*, in welchem der gläserne Behälter ausgeht, und zieht sie mit dem Schraubenschlüssel *TT'* stark an, um alle Verbindungen abzusperrern. Man sieht in *BB'* eine Röhre, durch welche man Wasser bis zum Kolben *S* gießt und welche man nachher verschließt. Während dieser Zeit entweicht die Luft durch die Seitenöffnung *O*, welche ihrerseits durch den Kolben verschlossen werden muß, sobald er anfängt niederzugehen. Nachdem dies ausgeführt, braucht man nur das Querstück *TT'* zu drehen, um die Schraube *G* in ihre Mutter herabzudrücken, welche den Kolben vor sich hertreibt, und dann beobachtet man zugleich das Manometer *m m'*, um das Maß des Druckes, und den Index des Piezometers, um die entsprechende Volumenveränderung kennen zu lernen.

Der Verf. fand auf diese Weise, daß bei einem Drucke von einer Atmosphäre das Wasser um 0,000045 seines ursprünglichen Volumens zusammengedrückt wird, und daß bis zu 70 Atmosphären die Zusammenrückbarkeit den drückenden Kräften proportional bleibt, so daß, wenn dieses Gesetz ohne Grenze forstging,

ein Druck von 100 Atmosphären nur erst eine Zusammendrückung von 0,0045 des ursprünglichen Volumens hervorbringen würde, und über 10000 Atmosphären nöthig wären, um das Wasser auf die Hälfte seines Volumens zu bringen. Die Zusammendrückbarkeit des Quecksilbers geht für jede Atmosphäre nicht über ein Milliontheil, die des Alkohols beträgt 20 Milliontheile, die des Schwefelkohlenstoffes 30 Milliontheile, die des Schwefeläthers 60 Milliontheile, die des Wassers, welches Salze, Alkali's oder Säuren enthält, zeigte sich etwas geringer als die des reinen Wassers.

Diese Zahlen sind die directen Zahlen der Beobachtung. Es entstand nun die Frage, ob nicht das Piezometer, dessen Wandung zwischen der äußeren und inneren Flüssigkeit zusammengedrückt wird, eine merkliche Veränderung seiner Capacität erfahre, welche eine Correction der Resultate aus den directen Versuchen nöthig mache. Dersted glaubte annehmen zu können, daß diese Correction vernachlässigt werden könne, während Andere auf eine Vermehrung der Capacität des Piezometers schlossen. Indessen wurde auch die Ansicht geäußert, daß, weil ein solider Körper von derselben Gestalt und Substanz wie das Piezometer durch die Zusammendrückung an Volumen verliere, um eine ebenso bedeutende Quantität auch die Wandung des Piezometers verringert werden müsse, und daß also eine in Rechnung zu bringende Verminderung der Capacität stattfinde. Poisson war der letzteren Meinung, deren Statthaftigkeit er nachwies, und suchte zu zeigen, daß, wenn man die ursprüngliche Capacität des Piezometers durch V bezeichnet, dann diese Capacität $V (1 - \frac{3}{2} \delta)$ (s. Art. Elasticität) unter dem Druck P betrage, wo δ die Zusammenziehung bedeutet, welche eine Röhre von derselben Substanz wie das Piezometer, und an ihren beiden Enden demselben Druck P ausgesetzt, erleiden würde, wobei dieser Druck auf die Einheit der Oberfläche zu beziehen ist. Zieht man diese Röhre, anstatt auf dieselbe einen Druck auszuüben, mit derselben Kraft in die Länge, so kann man im Allgemeinen annehmen, daß sie dieselbe Verlängerung δ erfahren werde. Verlängert sich nun nach den Versuchen von Colladon und Sturm eine Glasröhre, wenn sie mit einer Kraft gleich einer Atmosphäre (oder gleich dem Gewichte einer Quecksilbersäule von 760 Millim. Höhe, und von einer Basis gleich dem Querschnitt der Röhre) ausgezogen wird, um 11 Sechsmilliontheilen, so folgt daraus für die Capacität eines Piezometers von Glas unter einem Atmosphärendruck mehr, wenn man diese Capacität bei gewöhnlichem Drucke V nennt, nach der obigen Formel $V (1 - 0,00000165)$. Die Poisson'sche Formel besagt eigentlich, daß, wenn man die lineare Verlängerung oder Verkürzung δ einer mit einer gewissen Kraft an ihren Enden ausgezogenen oder gedrückten Substanz kennt, man davon die Hälfte nehmen, also $\frac{1}{2} \delta$ nehmen muß, um die lineare Zusammenziehung derselben Substanz, wenn sie an allen Punkten denselben Druck erfährt, zu kennen, und $\frac{3}{2} \delta$, um die Zusammenziehung des Volumens zu erfahren. Allein wir haben bereits im Eingange dieses Artikels (s. S. 1109—1111) bemerkt, daß nach Wertheim's Versuchen in Rücksicht der Volumsveränderung nicht, wie Poisson verlangt, $\frac{1}{2} \delta$, sondern vielmehr $\frac{1}{3} \delta$ zu nehmen ist. — Die folgende Tabelle enthält die Resultate der Arbeiten von Dersted und von Colladon und Sturm*), die gleichfalls Versuche über die Zusammendrückbarkeit

*) Ann. de Chim. et Phys. T. XXXV. p. 113. Pogg. Ann. Bd. XII. S. 39.

tropfbarer Flüssigkeiten anstellen. In der zweiten Columne stehen die von den Beobachtern gegebenen Zahlen, und in der dritten dieselben Zahlen nach den gemäß der Poisson'schen Formel erfolgten Correctionen, wobei die 11 Zehnmilliontheilchen für die lineare Verlängerung des Glases unter einem Atmosphärendruck in Rechnung gebracht sind. Diese Correction vergrößert die Zahlen von Dersted, weil er die Capacität des Piezometers als constant vorausgesetzt hatte, und vermindert die von Colladon und Sturm, weil diese eine Volumsveränderung um 3 δ, anstatt nach Poisson um $\frac{1}{2} \delta$ angenommen hatten.

Tabelle der Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten.

Ramen der Substanzen.	Zusammendrückbarkeiten für eine Atmosphäre ausgedrückt in Milliontheilchen des ursprünglichen Volumens.	Zusammendrückbarkeiten, bei denen Correctionen ausgeführt.
	Dersted	
Quecksilber	1	2,63
Alkohol	20	21,63
Schwefelalkohol	30	31,63
Wasser	43	46,63
Schwefeläther	60	61,63
	Colladon und Sturm	
Quecksilber	3,03	3,38
Schwefelsäure	32	30,33
Salpetersäure	32,2	30,33
Ammoniak	34,7	33,03
Eisigsäure	42,2	40,33
Wasser mit eingeschlossener Luft	49,3	47,83
Wasser ohne Luft	51,3	49,63
Salpeteräther	71,3	69,83
Terpentineffenz	73	71,33
Eisigäther	79,3	77,63
Salzäther	85,9 f. d. 1ste Atmosph.	84,23
"	82,25 f. d. 9te Atmosph.	80,60
Alkohol	96,3 f. d. 1ste Atmosph.	94,93
"	93,3 f. d. 9te Atmosph.	91,83
"	89 f. d. 24ste Atmosph.	87,33
Schwefeläther bei 0°	133 f. d. 1ste Atmosph.	131,33
"	122 f. d. 24ste Atmosph.	120,43
Derselbe bei 11°	150 f. d. 1ste Atmosph.	148,33
"	141 f. d. 24ste Atmosph.	139,33

Nach dieser Tabelle nimmt die Zusammendrückbarkeit des Alkohols, des Schwefel- und Salzäthers mit wachsendem Druck ab. Auch zeigt sich beim Schwefeläther eine sehr beträchtliche Steigerung der Zusammendrückbarkeit zwischen den Temperaturen von 0 bis 11° (s. weiterhin).

Regnault *) bestimmte die Zusammendrückbarkeit des Wassers in kupfernen, messingenen und gläsernen Gefäßen, und wir haben bereits erwähnt, daß derselbe auch die cubische Zusammendrückbarkeit der von ihm benutzten Gefäße

*) Relations des expériences entreprises etc. No. 7.

(Piezometer) bestimmt hat (S. 1111). In letzterer Beziehung richtet sich der Versuch eigentlich auf drei Beobachtungen, nämlich 1) unter dem inneren Druck, 2) unter dem äußeren Druck, 3) unter dem inneren und äußeren Druck zugleich. Der äußere Druck wirkt nur auf die Außenwand des Piezometers, während der innere Druck zugleich auf die Innenwand und den Scheitel der zur Messung der Volumänderungen dienenden graduirten Röhre wirkt. Sodann berechnete Wertheim aus den Gleichungen des Gleichgewichts die cubische Zusammendrückbarkeit der von Regnault benutzten Piezometer*). Für eine kupferne Kugel von der Capacität 109^{cc},11 ergab sich die cubische Zusammendrückbarkeit C der Substanz im Mittel zu 0,0000013377. Nun hat man nach den oben (S. 1110) aufgestellten Gleichungen $k = \frac{1}{C}$, $k = \frac{3}{4} q$, $q = \frac{4}{3} k$, folglich $q = \frac{4}{3} \frac{1}{C}$,

und demnach $k = \frac{1}{C} = 747552$ Atmosphären auf den Quadratcentimeter = 769978 Kilogramm auf den Quadratcentim., und $q = \frac{3}{4} k = 10266$ Kilogramm auf den Quadratmillim.

Aus Verlängerungsversuchen ergab sich für angelassenes Kupfer**) $q = 10519$, ein Werth der etwas größer als der so eben aus den Compressionsversuchen abgeleitete, was nach Wertheim von kleinen bleibenden Formveränderungen herrührt. Für einen kleineren Druck, bei dem diese Formveränderungen noch unmerklich sind, ergab sich $q = 10492$, der nahe mit dem durch Verlängerung gefundenen Coefficienten übereinstimmt.

Für eine messingene Kugel von der Capacität 102^{cc},71 ergab sich im Mittel $C = 0,0000014788$, und hiernach $k = 676224$ Atmosphären pro Quadratcentimeter = 696511 Kilogramm. pro Quadratmillim. Durch Verlängerung wurde an einem Drahte von Berliner Messing gefunden***) $q = 9277$, während die alte Formel nach Poisson $q = 10477,6$ giebt.

Für einen Cylinder von gewöhnlichem Glase mit hemisphärischen Grundflächen war die cubische Zusammendrückbarkeit der Substanz im Mittel $C = 0,0000022897$, $k = 436738$ Atmosphären pro Quadratcentim. = 449840 Kilogramm. pro Quadratcentim., $q = 5997,9$ Kilogramm. pro Quadratmillim. Die Verlängerungsversuche****) gaben für das feine Sodaglas $q = 6040$.

Der selb *****) stellte, um die Richtigkeit der Formel, vermittelst deren man die wahre Zusammendrückbarkeit einer Flüssigkeit aus ihrer scheinbaren ableitet, einen Versuch an. Zunächst wurde die scheinbare Zusammendrückbarkeit in einem gläsernen Piezometer bestimmt, und dann statt des letzteren eine bleierne Flasche genommen. Er fand nun, indem er den von Tredgold bestimmten Elasticitätscoefficienten des Bleies benutzte, daß man in diesem Metall eine nega-

*) Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 483.

**) Ann. de Chim. et Phys. Sér. III. T. XII. p. 421. Pogg. Ann. Ergänzungsband II. S. 36.

***) Ann. de Chim. et Phys. Sér. III. T. XII. p. 598. Pogg. Ann. Ergänzungsband II. S. 89.

****) Ann. de Chim. et Phys. Sér. III. T. XIX. p. 137. Pogg. Ann. Ergänzungsband. II. S. 115.

*****) Pogg. Ann. Bd. XII. S. 513; Bd. XXXI. S. 361.

tive scheinbare Zusammendrückbarkeit, d. h. eine scheinbare Ausdehnung erhalten müßte. Der Versuch gab ihm jedoch eine Zunahme der scheinbaren Zusammendrückbarkeit von zwei Millionteln des Wasservolums, und daraus schloß er, daß die Substanz der Hülle ohne Einfluß sei auf die scheinbare Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeit. Nach dem Obigen ist aber die cubische Zusammendrückbarkeit des gewöhnlichen Glases 0,0000022897; der Elasticitätscoefficient des reinen Bleies ist in runder Zahl = 1800 Kilogramm. pro Quadratmillim., woraus für das Blei $C = 0,0000076297$ folgt, und zwar für den Druck von 1 Atmosphäre auf das Quadracentim. Die Versuche wurden zugleich bei äußerem und innerem Druck angestellt; und zurückgeführt auf die Einheit des Druckes und Volums hat man $w = \mu - \frac{3}{4} C$, wo w die scheinbare Volumsveränderung der Flüssigkeit und μ die Zusammendrückbarkeit der in dem Piezometer enthaltenen Flüssigkeit bedeutet. Nun ist die scheinbare Zusammendrückbarkeit für das Piezometer aus Glas $w = \mu - 0,0000017172$, und für das Piezometer aus Blei $w = \mu - 0,0000057222$. Aus diesen Ausdrücken folgt, daß die scheinbare Zusammendrückbarkeit in dem gläsernen Piezometer beinahe 4 Milliontel größer als in dem bleiernen sein müßte, und dieser Unterschied würde, wie Wertheim bemerkt, noch viel kleiner sein, wenn der Dersted'sche Piezometer von Krystallglas, und das Blei frei von Verunreinigungen gewesen wäre. In diesem Falle erscheint der Widerspruch zwischen Formel und Erfahrung klein genug, um irgend einer Fehlerquelle, z. B. einer bleibenden Entfaltung der Flasche, zugeschrieben zu werden.

Die Zusammendrückbarkeit des Quecksilbers bestimmte Regnault in Glasgefäßen, und erhielt für den Druck einer Atmosphäre 0,000003517. Eine Erweiterung erhielten die Regnault'schen Versuche durch Grassi *). Dieser fand für luftfreies destillirtes Wasser nachstehende Zusammendrückbarkeiten, angegeben in Milliontel des ursprünglichen Volumens.

Bei 0° C. (Temperatur)	0,0000505601
10°,8	0,0000487053
13°,4	0,0000483777
15°,5	0,0000477446
25°,9	0,0000458425
34°,8	0,0000455727
43°,0	0,0000444137
53°,3	0,0000443355.

Man sieht, daß die Zusammendrückbarkeit mit Zunahme der Temperatur abnimmt.

Für die nachbenannten Lösungen ergaben sich die beistehenden Zusammendrückbarkeiten.

Lösung von salpetersaurem Natron	0,0000306565
" " kohlensaurem Natron	0,0000303294
" " Chlorkalcium	0,0000209830
Meerwasser	0,0000445029

Die von Grassi gefundenen Werthe der Zusammendrückbarkeit stimmen

*) Compt. rend. T. XXVII. p. 153. Dingler's polyt. Journ. Bd. CX. S. 31.

mit den von Wertheim aus den Schallgeschwindigkeiten hergeleiteten (s. Artikel Wellenbewegung, Bd. VI. S. 936 ff.) ziemlich nahe überein.

Auch zeigten die Versuche von Grassi, daß die Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten mit steigendem Druck nicht, wie Colladon und Sturm fanden, abnimmt, sondern vielmehr wächst, was sich namentlich bei dem Aether, Alkohol, Chloroform, der Essigsäure etc. herausstellte. —

Es ist bekannt, daß bei der Compression gasförmiger Flüssigkeiten eine beträchtliche Wärmemenge entwickelt werden kann, und auch bei der schnellen Compression fester Körper findet eine merkliche Wärmentwicklung statt (s. Artikel Wärme, Bd. VI. S. 726 ff., 724 ff.). Die entwickelte Wärmemenge ist der bei der Compression verwendeten mechanischen Arbeit proportional. Nun ist auch bei der Compression tropfbarer Flüssigkeiten eine der mechanischen (äußeren und inneren) Arbeit entsprechende Wärmeentwicklung zu erwarten. Thomson fand für die Temperaturerhöhung, welche durch einen Druck p bewirkt wird, die Formel

$$\tau = \frac{\beta \cdot A \cdot T}{s \cdot C} \cdot p. \quad \text{Hier bezeichnet } \tau \text{ die Temperaturerhöhung, } \beta \text{ den Ausdehnungscoefficienten, } s \text{ das specifische Gewicht, } C \text{ die specifische Wärme der Flüssigkeit, } A \text{ das Wärmeäquivalent der Arbeitseinheit (s. Wärme, Bd. VI. S. 708, 709 ff., 711) und } T \text{ die von } - 273^{\circ} \text{ C. gezählte absolute Temperatur.}$$

Nach dieser Formel ergiebt sich für einen Druck von 10 Atmosphären bei Wasser und Quecksilber, deren Temperatur gleich 0° C. ist, eine Temperaturveränderung von $- 0,0050$ für Wasser, und von $+ 0,26$ für Quecksilber. Ist die Temperatur beider Flüssigkeiten $30,95^{\circ} \text{ C.}$ (für welche das Wasser im *Maximo* seiner Dichte ist), so beträgt für denselben Druck (von 10 Atmosph.) die Temperaturveränderung des Wassers 0, die des Quecksilbers $+ 0,264$, bei einer Temperatur von 10° C. für Wasser $+ 0,006$, für Quecksilber $+ 0,27$, bei 50° C. für Wasser $0,035$, für Quecksilber $0,31$, bei 100° C. für Wasser $0,078$, für Quecksilber $0,36$. Man sieht, daß sich solche Temperaturveränderungen der Beobachtung entziehen können. Regnault *) benutzte zu Temperaturbestimmungen in dieser Beziehung ein thermoelektrisches Element, das noch $0,015^{\circ}$ anzeigte, und fand, daß die Erwärmung des Wassers, bei Anwendung eines Druckes von 10 Atmosphären, gewiß unter $0,02^{\circ}$ blieb.

Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte. Die Lehre von der Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte gestaltet sich in mannichfacher Beziehung am einfachsten und anschaulichsten, wenn man sofort auf die Wirkungen, nämlich auf die Bewegungen reflectirt, welche die gegebenen Kräfte einzeln genommen hervorbringen werden, indem man jede Kraft durch eine gerade Linie vorstellt, welche ein materieller Punkt, von der Kraft getrieben, in einer gewissen Zeit beschreiben wird. Das Parallelogramm der Kräfte hat sich dann zunächst mit der Frage zu beschäftigen, in welcher Linie sich ein materieller Punkt bewegen wird, der gleichzeitig von zwei Kräften zu zwei Bewegungen nach verschiedenen Richtungen angeregt ist (vergl. Art. Bewegung, Bd. I. S. 816, 817 ff.). Doch hat man auch vielfach versucht, ohne Rücksicht auf die Bewegung die Mittelkraft zu bestimmen, welche zwei gegebenen, ihrer Größe und Richtung nach durch Linien

*) Mém. de l'Acad. T. XXI. p. 463.

dargestellten, Kräften entspricht. Und hierher gehören denn die sogenannten statischen Beweise für den Satz des Parallelogramms der Kräfte. Neuerdings hat D. Schlämilch *) die verschiedenen analytischen Beweise für diesen Satz einer Prüfung unterworfen und manche Punkte scharfer zu begründen gesucht. —

Man kann die gesammte Mechanik gewissermaßen als eine Lehre von der Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte betrachten, welche Bewegung hervorbringen oder hervorzubringen streben, da das sogenannte Princip der virtuellen Geschwindigkeiten, durch welches sich alle statischen Fragen beantworten lassen, nur eine Verallgemeinerung des Parallelogramms der Kräfte ist, und das sogenannte d'Alembert'sche Princip alle Fragen der Dynamik auf die Statik zurückführt.

Es ist bekannt, daß eine krümmelinige Bewegung sich immer nach dem Parallelogramm der Kräfte (oder Geschwindigkeiten) als eine Combination mehrerer geradliniger Bewegungen betrachten läßt. Hat ein Körper durch eine momentan wirkende Kraft (Stoß) eine Bewegung in gerader Linie erhalten, auf der er sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit gleichförmig fortzubewegen strebt, während er gleichzeitig durch eine continuirlich auf ihn wirkende Kraft nach einem und demselben Punkte C (s. beistehende Figur) hingezogen wird, so resultirt hieraus eine sogenannte Centralbewegung in krummer Bahn. Könnte z. B. der Körper vermöge seiner anfänglichen Geschwindigkeit allein in der Zeiteinheit den Weg AB zurücklegen, während ihn die Centralkraft, deren Sitz in C ist, allein in derselben Zeit durch die Linie AG treiben würde, so müßte er zunächst, in Folge beider Bewegungen zusammengenommen, die Linie AD beschreiben, nach der er nun fortgehen sollte; da jedoch die Centralkraft von Neuem auf ihn wirkt, so wird er nach der Diagonale DH fortgetrieben. So beschreibt also der Körper, indem sich dies wiederholt, eine gebrochene Linie A D H . . . , die aber zu einer krummen Linie wird, wenn die Centralkraft ununterbrochen oder in unendlich kleinen Zwischenräumen auf den Körper wirkt (s. Art. Bewegung, Bd. I. S. 830 ff.). Die



Richtungen AB, DE etc., nach welchen der Körper fortschreiten würde, wenn die Ursache der Anziehung bei seiner Ankunft in A, D etc. plötzlich wegsiele, sind Tangenten der krummen Bahn, welche der Körper wirklich beschreibt. Die Gestalt dieser Bahn hängt aber ab von der Stärke des anfänglichen Stoßes, oder von der Geschwindigkeit der ursprünglichen Bewegung, mit welcher der Körper in einer bestimmten Richtung gleichförmig fortgehen würde, und von der Stärke und dem Gehege der Wirkung jener Anziehung, so wie endlich von der Lage des Centralpunktes.

Wenn also ein Körper einmal in eine geradlinige gleichförmige Bewegung gerathen ist, so sollte er sich mit der ihm zukommenden Geschwindigkeit ohne Ende geradlinig fortbewegen. Wird er aber durch irgend eine Ursache fortwährend von der geraden Richtung abgelenkt, so muß er sich auf die besagte Weise in einer krummen Linie bewegen, jedoch mit Vorbehaltung des Strebens, sich von dieser Bahn in

*) Zeitschrift für Mathematik und Physik Bd. II. S. 84.

der Richtung der Tangente zu entfernen. Und dieses Bestreben würde auch wirklich Erfolg haben, sobald jene Ursache zu wirken aufhörte. In Folge dieses Strebens übt aber der Körper senkrecht gegen die Bahn einen Druck aus, welcher entweder durch die Ursache, die den Körper fortwährend von der Richtung seiner anfänglichen Bewegung ablenkt, oder durch sonst einen Widerstand aufgehoben wird. Ist z. B. eine gewichtlose Kugel *a* im Punkte *c* (s. beiliegende Figur) an einem Faden befestigt, und theilt man derselben durch einen Stoß eine gewisse Geschwindigkeit, so wird sie sich mit der letzteren in einem Kreise um den Punkt *c* bewegen, wobei der Faden beständig eine Spannung auszuhalten hat,



welche mit der Geschwindigkeit der Umdrehung wächst. Wird der Faden in irgend einem Augenblick durchschnitten, so muß die Kugel in der Richtung der Tangente sich von der Kreisbahn entfernen. Jene Spannung, welche der Faden während der Kreisbewegung der Kugel erleidet, nennt man die *Schwingkraft* (Centrifugalkraft). Wir haben dieselbe lediglich zu betrachten als eine Folge der anfänglichen Geschwindigkeit des Körpers und des hieraus resultirenden Strebens desselben, sich von der Bahn in der Richtung der Tangente zu entfernen.

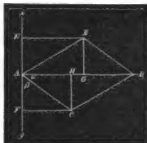
Man kann den Faden, wie leicht ersichtlich, ganz außer Acht lassen, wenn man an der Kugel eine Kraft anbringt, welche der Spannung des Fadens gleich und beständig nach dem festen Mittelpunkte gerichtet ist. Dann wird der Kreis vermöge dieser Kraft und der anfänglichen Geschwindigkeit beschrieben. Würde nun der Körper nicht durch diese Geschwindigkeit getrieben, so müßte er vermöge der Centralkraft, welche die Spannung des Fadens vertritt und beständig nach dem Punkte *c* gerichtet ist, in einer unendlich kleinen Zeit das Stück *ac* oder die Projection des Bogens *ab*, den er wirklich beschreibt, auf *ac* zurücklegen. Die Schwingkraft ist nun hier der Centralkraft gleich, aber entgegengesetzt gerichtet, und findet (s. Art. Bewegung, Bd. I. S. 826 ff.) ihren Ausdruck in der

Formel $p = \frac{4\pi^2 r}{t^2}$, wo *r* den Halbmesser des Kreises und *t* die Zeit einer ganzen Umdrehung bedeutet.

Die Schwingkraft, als eine Folge der anfänglichen Geschwindigkeit des Körpers, wirkt also der Centralkraft, die den Körper von der Richtung seiner anfänglichen Bewegung ablenkt, entgegen, und diese Kraft muß ganz oder theilweise dazu verwendet werden, um den Widerstand zu überwinden, der daraus entspringt, daß sich der Körper, vermöge seiner anfänglichen Geschwindigkeit, von der krummlinigen Bahn zu entfernen sucht. Dieser Sachverhalt, der zwar schon evident aus der Art und Weise hervorgeht, wie die Centralbewegung zu Stande kommt, läßt sich mit Hilfe des Parallelogrammes der Kräfte noch etwas allgemeiner und genauer entwickeln, und zwar nach folgender elementaren Methode, die mir von A. M artin (in Wien) mitgetheilt wurde.

Der materielle Punkt *A* (s. umstehende Figur) werde von zwei Kräften zu zwei Bewegungen nach den Richtungen *AB* und *AC* angeregt. Die Resultirende ist dann die Diagonale des Parallelogrammes *ABDC*, wenn die eine Kraft allein den materiellen Punkt in der Zeiteinheit durch die Linie *AB*, und die andere ihn in derselben Zeit durch *AC* treiben würde. Vergleicht man nun die Größe des

Weges AD mit den Wegen, welche der materielle Punkt durch den besonderen Einfluß der beiden Componenten durchlaufen müßte, nämlich AB und AC ($= BD$), so findet sich, daß derselbe, als die dritte Dreiecksseite, immer kleiner ist als die Summe der beiden anderen, woraus sich entnehmen läßt, daß beim Erfolge ein



Theil der wirklich thätigen Kräfte verloren gegangen ist, und zwar dadurch, daß jeder der ursprünglichen Componenten den materiellen Punkt von der Richtung der anderen ablenkt. Zieht man nun die Linie xy senkrecht auf AD , so daß sie durch den Punkt A geht, und fällt man die Linien BE und CF senkrecht auf xy , ferner die Linien BG und CH senkrecht auf AD ; so erhält man zwei Parallelogramme $AEBG$ und $AFC H$, in denen die ursprünglichen Componenten AB und AC die entsprechenden Diagonalen bilden. Man kann daher

statt dieser beiden Kräfte die ihm äquivalenten Kräfte AE , AG , AF und AH substituiren. Die Kräfte AE und AF heben sich aber, als einander gleich und entgegengesetzt gerichtet, gegenseitig auf, während der materielle Punkt durch die Summe der zwei übrigen Kräfte $AG + AH = AD$ nach der gemeinsamen Richtung AD hingetrieben wird. Es läßt sich auch leicht beweisen, 1) daß $AE = AF$, und 2) daß $AG + AH = AD$ ist. In der beigegebenen Figur ist $BG = AE$, und Dreieck BGD congruent mit dem Dreieck AFC , weil in beiden die Seiten BD und AC nebst den anliegenden, aus parallelen Schenkeln gebildeten Winkeln stückweise gleich sind; es ist daher $BG = AF$, also auch $AE = AF$. Ferner ist $AG + GD = AD$, und wegen der Congruenz der Dreiecke BGD und AFC auch $GD = FC = AH$. Setzt man diesen letzten Werth in die vorige Gleichung, so erscheint $AG + AH = AD$.

Wirken also zwei Kräfte AB und AC unter irgend einem Winkel auf einen materiellen Punkt, so wird derselbe nach der Diagonale AD des Parallelogrammes nicht mit dem ganzen Einflusse der beiden Kräfte fortgetrieben, sondern es wird von jeder Kraft nur eine Theilcomponente (resp. AG und AH) dazu verwendet, während die andere Theilcomponente (resp. AE und AF) den materiellen Punkt senkrecht von der neuen Bahn (AD) zu entfernen, also der Ablenkung zu widerstehen strebt. Dieser Widerstand der einen Kraft wird aber durch die gleich große Theilcomponente der andern Kraft, die das entgegengesetzte Bestreben äußert, aufgehoben, und die Bewegung in der Diagonale findet, wenn gleich mit Verlust an effectiver Kraft, durch die zusammenwirkenden Theilcomponenten wirklich statt.

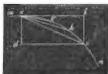
Das so eben Gesagte gilt bei momentanen Kräften für den Anfang der Bewegung; ist die letztere einmal eingeleitet, so wird sie, falls nicht neue Einflüsse dazu kommen, nach dem Gesetze der Trägheit unabänderlich fortdauern. Bei continuirlich wirkenden Kräften bleiben aber während der ganzen Dauer der Bewegung jene Kraftverhältnisse wirksam, und hier hat die vorige Schlussfolge bezüglich des Widerstandes der Ablenkung in jedem Augenblicke der Bewegung Geltung. — Kommen wir nun speciell auf die Schwingkraft zurück, so ist zu bedenken, daß bei einer krummlinigen Bewegung wenigstens eine Kraft eine continuirlich wirkende ist, welche eben die Ablenkung von einer gewissen Bewegungsrichtung unaufhörlich bewirkt,

und hier wird auch die Reaction gegen die Ablenkung in keinem Augenblicke fehlen. Nun weiß man, daß man bei der Auffassung der Bewegungsgesetze für die krummlinige Bewegung genöthigt ist, dieselbe auf geradlinige Bewegungen zurückzuführen, indem man sich die continuirliche Kraft nach unendlich kleinen Zeittheilchen $= \tau$ stoßweise wirksam denkt, oder indem man sich zunächst diese Zeittheilchen so klein vorstellt, daß ein Bahnstück, welches von dem materiellen Punkt während eines solchen Zeittheilchens zurückgelegt wird, als gerade angenommen, also gleichsam mit der Sehne des Bogens verwechselt werden kann. Unter dieser Voraussetzung stellt uns die obige Figur gleichfalls ein Bild des Vorganges bei einer krummlinigen oder bei einer Centralbewegung vor Augen. AC ist die Centralkraft für die Zeit τ , AB diejenige Kraft, mit welcher der materielle Punkt in A angelangt nach der Tangente bis B fortzuschreiten sucht, und AD ein Stück der Bahn, welches für den Moment τ als gerade angenommen wird. Es gelten die nämlichen Schlüsse für die nach einander folgenden Zeittheilchen $\tau = \tau' = \tau''$ u., oder sie gelten für ein verschwindend kleines τ , für jeden Punkt der krummlinigen Bahn; immer wird eine Theilcomponente AE, der in Folge der Trägheit geradlinig fortstrebenden Bewegung AB, sich der Ablenkung widersetzen, und sie muß durch die Centralkraft selbst oder durch eine Theilcomponente derselben aufgehoben werden. Die Kraft AE ist nun eben die sogenannte Schwingkraft.

Hört die Centralkraft plötzlich zu wirken auf, so wird die Schwingkraft AE nicht mehr aufgehoben; sie setzt sich alsbald mit ihrer Theilcomponente AG zusammen, und als Resultirende ergiebt sich die volle Kraft AB, mit welcher der materielle Punkt nach der Tangente des Punktes A fortfliegt.

Was nun das Verhältniß der Theilcomponenten $AE = AF$ angeht, so ist $AF = AC \cos \beta = AC \sin \alpha$, d. h. der Ablenkungswiderstand ist für ein und dieselbe ablenkende Kraft AC, abhängig vom Sinus des Winkels α , den diese Kraft mit der Haupt-Resultirenden AD einschließt. Wird bei einer bestimmten Combination der Kräfte dieser Winkel nahezu ein rechter, so wird $\sin \alpha$ nahe $= 1$, und AF nahe $= AC$, d. h. es ist unter diesen Umständen die GröÙe, welcher sich der Ablenkungswiderstand nähert, der ablenkenden Kraft selbst gleich.

In Hinsicht auf die Schwingkraft bei einer Centralbewegung im Kreise sei man ein Stück einer Kreisbahn, und abcd das Kräfte-Parallelogramm, in welchem die krumme Diagonale ac mit ihrer gleichnamigen Sehne ac um so eher



verwechselt werden kann, je kleiner man sich das Bogenstück selbst, oder je kleiner man sich die betreffende Zeitdauer der Bewegung ($= \tau$) denkt. Läßt man diese immer kleiner werden, so erhält man als entsprechende Bahnstücke die Bogen oder Sehnen ah, ak u., und der Winkel dah, dak u. nähert sich immer mehr einem rechten, bis er für ein unendlich kleines τ und ein unendlich kleines Bahnstück wirklich in einen rechten Winkel übergeht.

Daher kann denn auch nach dem Obigen der Ablenkungswiderstand oder die Schwingkraft im Kreise der ablenkenden Kraft oder der Centralkraft gleich gesetzt werden, so daß denn auch die Formel für die Centralkraft im Kreise, näm-

lich $p = \frac{4 \pi^2 r}{t^2}$, für die Schwingkraft im Kreise gilt.

Wir wollen nun noch die allgemeineren Grundlehren der Mechanik (nach analytischer Methode) in diesem Artikel betrachten.

Bezeichnet man durch P, P', P'', \dots Kräfte, welche auf einen materiellen Punkt m wirken, und durch p, p', p'', \dots die betreffenden virtuellen Geschwindigkeiten, d. h. die unendlich kleinen Räume, welche der materielle Punkt im Falle einer Störung seines Gleichgewichtes, im ersten Augenblicke der Störung nach der Richtung jeder der störenden Kräfte beschreiben würde, so hat man für die Bedingung des Gleichgewichtes (s. Art. Statik, Bd. VI. S. 79 ff.) die Gleichung:

$$Pp + P'p' + P''p'' + \dots = 0. \quad (1)$$

Der Satz der virtuellen Geschwindigkeiten, der hierin besteht, läßt sich nun bekanntlich auch auf ein System materieller Punkte, d. h. auf einen Körper ausdehnen. Man denke sich den Punkt m , dessen Coordinaten in seiner Gleichgewichtslage x, y, z seien, nach einem unendlich nahen Punkte n versetzt; seine Coordinaten lassen sich dann durch $x + \delta x, y + \delta y, z + \delta z$ bezeichnen. X, Y, Z seien aber die Seitenkräfte der Kraft P nach den Verlängerungen der x, y, z im positiven Sinne. Die unendlich kleinen Größen $\delta x, \delta y, \delta z$ sind die Projectionen der virtuellen Geschwindigkeit mn auf die Richtungen der X, Y, Z . Ist nun p die Projection derselben auf die Richtung von P , so hat man $Pp = X\delta x + Y\delta y + Z\delta z$.

Bezüglich der anderen materiellen Punkte m', m'', \dots hat man ebenso $P'p' = X'\delta x' + Y'\delta y' + Z'\delta z, P''p'' = X''\delta x'' + Y''\delta y'' + Z''\delta z''$. Addirt man diese drei Gleichungen, so kommt

$Pp + P'p' + P''p'' + \dots = \Sigma (X\delta x + Y\delta y + Z\delta z)$,
wo sich das Summenzeichen Σ auf alle materiellen Punkte m, m', m'', \dots des Systems bezieht.

Man hat nun auch für die obige Gleichung (1) die folgende

$$\Sigma (X\delta x + Y\delta y + Z\delta z) = 0. \quad (2)$$

Nennt man, wie gewöhnlich, die Producte aus den Kraftcomponenten X, Y, Z in die betreffenden unendlich kleinen Fortrückungen $\delta x, \delta y, \delta z$ des Angriffspunktes nach den Richtungen dieser Kräfte, virtuelle Momente, so ist für das Gleichgewicht des Systems die Summe der virtuellen Momente Null.

Die Verbindung, welche zwischen den materiellen Punkten eines Körpers besteht, läßt sich durch eine oder mehrere Gleichungen zwischen den Coordinaten derselben ausdrücken. Wirken nun auf diese Punkte äußere Kräfte, so machen sich auch, wegen der Verbindung dieser Punkte, innere Kräfte oder Widerstände geltend, welche an jedem Punkte den daselbst angebrachten äußeren Kräften das Gleichgewicht halten müssen, falls für das System selbst Gleichgewicht bestehen soll. Man kann annehmen, daß die inneren Kräfte nur in gegenseitigen Wirkungen der Punkte auf einander bestehen, so daß sie einander zu zweien gleich und gerade entgegengesetzt gerichtet sind. Sind nun $x, y, z, x', y', z', \dots$ die Coordinaten der Punkte und L, L', L'', \dots gegebene Functionen derselben, so seien $L = 0, L' = 0, L'' = 0, \dots$ Bedingungsgleichungen, denen das System unterworfen ist. Die gleichzeitigen Verrückungen aller Punkte des Systems müssen natürlich mit den Bedingungen, denen es unterworfen ist, verträglich sein. Daher müssen denn auch die Coordinaten $x, y, z, x', y', z', \dots$ von m, m', m'', \dots und die Coordinaten $x + \delta x, y + \delta y, z + \delta z, x' + \delta x', \dots$ von n, n', n'', \dots diesen

Gleichungen Genüge leisten. Man hat mit Vernachlässigung der unendlich kleinen Größen des zweiten Ranges:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dL}{dx} \delta x + \frac{dL}{dy} \delta y + \frac{dL}{dz} \delta z + \frac{dL}{dx'} \delta x' + \dots &= 0 \\ \frac{dL'}{dx} \delta x + \frac{dL'}{dy} \delta y + \frac{dL'}{dz} \delta z + \frac{dL'}{dx'} \delta x' + \dots &= 0 \\ \frac{dL''}{dx} \delta x + \frac{dL''}{dy} \delta y + \frac{dL''}{dz} \delta z + \frac{dL''}{dx'} \delta x' + \dots &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (a)$$

Man kann nun mit Hülfe dieser Gleichungen eine gewisse Anzahl der Größen $\delta x, \delta y, \delta z, \delta x', \delta y', \delta z' \dots$, die der Anzahl der Bedingungsgleichungen $L = 0, L' = 0, \dots$ gleich ist, aus der Gleichung (2) eliminiren. Dann werden diejenigen von diesen Größen, welche noch in dem ersten Theil der Gleichung (2) bleiben, unabhängig von einander sein. Setzt man daher ihre Coefficienten einzeln gleich Null, so giebt dies alle Gleichungen des Gleichgewichts des Systems, deren Anzahl dreimal so groß als die der materiellen Punkte m, m', m'', \dots weniger der Anzahl der Gleichungen $L = 0, L' = 0, L'' = 0, \dots$ sein wird. Wenn aber die Werthe des Coordinaten $x, y, z, x', y', z', \dots$ dieser Punkte, also die Lagen derselben gegeben sind, so müssen die Seitenkräfte der Kräfte P, P', P'', \dots diesen Gleichungen des Gleichgewichts genügen. Sind dagegen diese Kräfte der Größe und Richtung nach gegeben und die Orte der Punkte des Systems unbekannt, so kann man dieselben Gleichungen in Verbindung mit den Gleichungen $L = 0, L' = 0, \dots$ zur Bestimmung aller Coordinaten benutzen.

Die Elimination eines Theiles der Größen $\delta x, \delta y, \delta z, \delta x', \delta y', \delta z', \dots$ kann in bekannter Weise dadurch geschehen, daß man die Gleichungen (2) und (a) addirt, nachdem man die Gleichungen (a) mit unbestimmten Factoren multiplicirt hat, und in dieser Summe die Coefficienten derjenigen unter den Größen $\delta x, \delta y, \delta z, \dots$ die man eliminiren will, $= 0$ setzt. Man erhält dann eine Anzahl von Gleichungen, die der der Coordinaten gleich ist. Eliminirt man aus ihnen noch die unbestimmten Factoren, so erhält man die Gleichungen des Gleichgewichts des Systems.

Sind nun $\lambda, \lambda', \lambda'', \dots$ die Factoren, mit welchen man die Gleichungen (a) multiplicirt, so bekommt man nach der bezeichneten Methode für die Gleichungen, welche von den Coefficienten von $\delta x, \delta y, \delta z$ herrühren,

$$\left. \begin{aligned} X + \lambda \frac{dL}{dx} + \lambda' \frac{dL'}{dx} + \lambda'' \frac{dL''}{dx} + \dots &= 0 \\ Y + \lambda \frac{dL}{dy} + \lambda' \frac{dL'}{dy} + \lambda'' \frac{dL''}{dy} + \dots &= 0 \\ Z + \lambda \frac{dL}{dz} + \lambda' \frac{dL'}{dz} + \lambda'' \frac{dL''}{dz} + \dots &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (b)$$

Ebenso hat man für die Gleichungen, die von den Coefficienten von $\delta x', \delta y', \delta z'$ herrühren,

$$\left. \begin{aligned} X' + \lambda \frac{dL}{dx'} + \lambda' \frac{dL'}{dx'} + \lambda'' \frac{dL''}{dx'} + \dots &= 0 \\ Y' + \lambda \frac{dL}{dy'} + \lambda' \frac{dL'}{dy'} + \lambda'' \frac{dL''}{dy'} + \dots &= 0 \\ Z' + \lambda \frac{dL}{dz'} + \lambda' \frac{dL'}{dz'} + \lambda'' \frac{dL''}{dz'} + \dots &= 0 \end{aligned} \right\} (c)$$

u. s. w.

Denkt man sich alle Punkte des Systems, bis auf einen, dessen Coordinaten x, y, z sind, unbeweglich, so wird dadurch das Gleichgewicht nicht gestört. Besteht dann die Bedingungsgleichung $L = 0$, so ist der bewegliche Punkt genöthigt, sich auf der Oberfläche zu bewegen, deren Gleichung $L = 0$ ist, in welcher die Coordinaten x, y, z allein veränderlich sind. Die äußere Kraft, die an dem betreffenden Punkte angebracht ist, wird dann, im Falle des Gleichgewichtes, auf der bezeichneten Oberfläche normal sein. Die Seitenkräfte X, Y, Z müssen sich aber für diesen Fall wie $\frac{dL}{dx} : \frac{dL}{dy} : \frac{dL}{dz}$ verhalten, oder man hat, wenn λ

einen unbestimmten Factor bedeutet, $X = \lambda \frac{dL}{dx}$, $Y = \lambda \frac{dL}{dy}$, $Z = \lambda \frac{dL}{dz}$. Eben

so ist für den Punkt mit den Coordinaten x', y', z' : $X' = \lambda \frac{dL}{dx'}$, $Y' = \lambda \frac{dL}{dy'}$,

$Z' = \lambda \frac{dL}{dz'}$ *).

Besteht noch eine zweite Bedingungsgleichung $L' = 0$ und bedeutet λ' einen zweiten für alle Punkte des Systems gleichen, aber sonst unbestimmten Factor, so hat man für das Gleichgewicht: $X = \lambda \frac{dL}{dx} + \lambda' \frac{dL'}{dx}$, $Y = \lambda \frac{dL}{dy} + \lambda' \frac{dL'}{dy}$,

$Z = \lambda \frac{dL}{dz} + \lambda' \frac{dL'}{dz}$.

In derselben Weise geht es fort, wenn die Anzahl der Bedingungsgleichungen noch größer ist.

Werfen wir nun, ehe wir zu dem allgemeinen Princip der Dynamik übergehen, einen Blick auf die Grundformeln der geradlinigen Bewegung. Der durchlaufene Raum x ist jedenfalls eine Function der Zeit, so daß man zunächst hat $x = st$. Bei einer gleichförmigen Bewegung ist aber der Weg, den ein Körper durchläuft, der während der Bewegung verfloffenen Zeit proportional, und die Geschwindigkeit ist hier der Weg, der vom Körper in der Zeiteinheit durchlaufen wird. Bezeichnet man diese Geschwindigkeit durch c und die Zeit, welche zur Beschreibung des Weges x erforderlich ist, durch t , so ist $x = ct$. Bei einer veränderlichen Bewegung sind aber die Wege, welche der Körper in gleichen Zeiten durchläuft, ungleich. Der einfachste, hierher gehörige Fall ist derjenige,

*) Vergl. Poinsot: *Éléments de statique*, appendice.

wo die Geschwindigkeit in gleichen Zeiten um gleichviel zu- oder abnimmt, wo also die Kraft fortwährend mit derselben Intensität auf den Körper wirkt. Die Bewegung ist dann eine gleichförmig veränderliche. Nimmt man nun an, daß die auf den Körper wirkende Kraft am Ende der Zeit t plötzlich ihre Wirkung einstellt, so würde die Bewegung nach dem Gesetze der Trägheit mit einer bestimmten Geschwindigkeit v , die der bisherigen Einwirkung der Kraft entspricht, von Statten gehen. Denken wir uns die Wirkung der Kraft nur während des Zeitelements dt unterbrochen, so beschreibt der Körper in demselben das Raumelement dx mit der Geschwindigkeit v , so daß dann $dx = v dt$, oder $v = \frac{dx}{dt}$ ist.

Bezeichnet man durch φ die Kraft, welche bei irgend einer geradlinigen Bewegung am Ende der Zeit t auf den bewegten Körper wirkt, und die als eine positive oder negative Größe anzusehen ist, je nachdem sie im Sinne der erlangten Geschwindigkeit oder im entgegengesetzten Sinne wirkt. Ist nun diese Geschwindigkeit am Ende der Zeit t gleich v , so wird sie am Ende der Zeit $t + dt$ gleich $v + dv$ sein, so daß die Kraft φ den Körper in der Zeit dt die Geschwindigkeit dv erteilt. Ist nun ferner p eine bekannte beständige Kraft, welche in der Zeiteinheit die Geschwindigkeit g bewirkt, und also den Körper in der Zeit dt die Geschwindigkeit $g dt$ erteilt, so ist $\varphi : p = dv : g dt$, oder $\varphi = \frac{p}{g} \cdot \frac{dv}{dt}$.

Nimmt man aber p und g als Einheiten an, so ist $\varphi = \frac{dv}{dt}$.

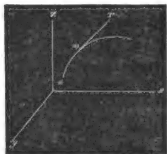
Hiernach sind denn die allgemeinen Formeln der geradlinigen Bewegung $x = ft$, $v = \frac{dx}{dt}$, $\varphi = \frac{dv}{dt}$.

Nimmt man in der zweiten Gleichung die Zeit t als constant an und differentiiert, so wird $dv = \frac{d^2x}{dt^2}$, und daher auch $\varphi = \frac{d^2x}{dt^2}$.

Die Kraft φ sei eine beständige Kraft $= g$, wie dies z. B. der Fall ist, wenn ein Körper, von der Schwere getrieben, im leeren Raume vertical herabfällt. Es ist $\frac{d^2x}{dt^2} = g$, und, wenn man integrirt $x = \frac{1}{2} g t^2$, und nach der Formel $v = \frac{dx}{dt}$, $v = g t$, wobei bezüglich der Constanten zu berücksichtigen ist, daß für $t = 0$, $x = 0$ und $v = 0$ ist. Aus den beiden Formeln für x und v folgt aber noch $v^2 = 2 g x$. Und dies sind die bekannten Ausdrücke für den freien Fall der Körper. —

Ist ein materieller Punkt genöthigt, sich auf einer krummen Linie zu bewegen, und ist m (s. umstehende Figur) der Ort des Punktes am Ende der Zeit t , so ist der Bogen s zwischen dem festen Punkte a und m eine Function von t , also $s = Ft$. Sind ferner x, y, z die Coordinaten des materiellen Punktes, so hat man auch $x = ft$, $y = f't$, $z = f''t$. Diese Gleichungen sind die der geradlinigen Bewegungen der Projection des materiellen Punktes auf die drei Coor-

binären, so daß die vollständige Bestimmung der krümmeligen Bewegung eines materiellen Punktes auf die dreier geradliniger Bewegungen zurückkommt. Sind nun die Gleichungen der letzteren bekannt, so lassen sich daraus, wenn man t



eliminiert, zwei Gleichungen der Bahnlinie, in x, y, z ausgedrückt, ermitteln, und man kann dann s als Function einer dieser drei Coordinaten, und auch als Function von t bestimmen.

Hat nun der materielle Punkt am Ende der Zeit t die Geschwindigkeit v erlangt, so wird er während des Zeitelements dt das Element ds einer krummen Bahn beschreiben, so daß $v = \frac{ds}{dt}$.

Statt des Elements ds kann man aber auch die drei Projectionen desselben, nämlich dx, dy, dz nehmen, und die Geschwindigkeiten der Projectionen des Punktes auf die drei Aren der x, y, z am Ende der Zeit t werden sein: $p = \frac{dx}{dt}$,

$$q = \frac{dy}{dt}, r = \frac{dz}{dt}.$$

Sind nun ferner α, β, γ die Winkel, welche die Tangente mT der Trajectorie oder die Richtung der Geschwindigkeit v mit den Linien macht, die den Aren der x, y, z parallel sind, so hat man $\cos \alpha = \frac{dx}{ds}$, $\cos \beta = \frac{dy}{ds}$,

$\cos \gamma = \frac{dz}{ds}$, woraus folgt $p = v \cos \alpha$, $q = v \cos \beta$, $r = v \cos \gamma$, und

$$v^2 = p^2 + q^2 + r^2 = \frac{dx^2 + dy^2 + dz^2}{dt^2}.$$

Die beschleunigenden Seitenkräfte X, Y, Z nach den Richtungen der drei Coordinatenaren sind aber $X = \frac{d^2x}{dt^2}$, $Y = \frac{d^2y}{dt^2}$, $Z = \frac{d^2z}{dt^2}$.

Kann man nun diese drei Gleichungen integrieren, so läßt sich auch die Bahn des Körpers bestimmen.

Multipliziert man die erste dieser Gleichungen mit $2 dx$, die zweite mit $2 dy$, die dritte mit $2 dz$, und addirt sie dann, so erhält man

$$\frac{2 dx \cdot dx^2 + 2 dy \cdot dy^2 + 2 dz \cdot dz^2}{dt^2} = 2 (X dx + Y dy + Z dz).$$

Nun ist $2 dx \cdot dx^2 = d \cdot dx^2$ u. s. f., daher auch

$$\frac{d(dx^2 + dy^2 + dz^2)}{dt^2} = 2 (X dx + Y dy + Z dz).$$

Nimmt man dt als constant und setzt $dx^2 + dy^2 + dz^2 = ds^2$,

so kommt $\frac{d \cdot ds^2}{dt^2} = 2 (X dx + Y dy + Z dz)$, oder $\frac{ds^2}{dt^2} = v^2 = 2/(X dx + Y dy + Z dz) + C$.

Ist nun die eingeschlossene Größe ein vollständiges Differential der drei Veränderlichen x, y, z , und setzt man demgemäß $X dx + Y dy + Z dz = d \cdot F(x, y, z)$, so ergibt die Integration $v^2 = 2 F(x, y, z) + C$.

Sind a, b, c, v' die anfänglichen Werthe von x, y, z, v , so wird $v'^2 = 2 F(a, b, c) + C$, und durch Subtraction dieser Gleichung von der vorigen $v^2 - v'^2 = 2 F(x, y, z) - 2 F(a, b, c)$.

Nach dieser Gleichung sind die Quadrate der Geschwindigkeiten an zwei Punkten nur durch die Coordinaten dieser Punkte, nicht aber durch die der zwischenliegenden bedingt.

Ist die Richtung der beschleunigenden Kraft, welche den Körper in der krummen Bahn erhält, nach einem festen Punkte gerichtet, und ihrer Größe und Richtung nach durch den Abstand (Radiusvector) des festen Punktes von dem bewegten Körper dargestellt, so verlege man den Anfangspunkt der Coordinaten x, y, z in den festen Punkt. Der eben erwähnte Abstand ist dann die Diagonale eines Parallelepipedums, dessen drei zusammenstoßende Seiten auf den Axen des x, y, z liegen, und die drei Seitenkräfte X, Y, Z der gegebenen Kraft darstellen. Man hat dann $X : Y : Z = x : y : z$, und hieraus $Yx = Yx, Zx = Xx, Yz = Zy$.

Anstatt der Gleichungen $X = \frac{d^2 x}{dt^2}, Y = \frac{d^2 y}{dt^2}, Z = \frac{d^2 z}{dt^2}$ hat man aber

$$\frac{y d^2 x - x d^2 y}{dt^2} = (Xy - Yx)$$

$$\frac{x d^2 z - z d^2 x}{dt^2} = (Zx - Xz)$$

$$\frac{z d^2 y - y d^2 z}{dt^2} = (Yz - Zy)$$

Die zweiten Theile dieser Gleichungen sind nach dem Vorstehenden gleich Null. Multiplicirt man jede dieser Gleichungen mit dt und integrirt, so erfolgt

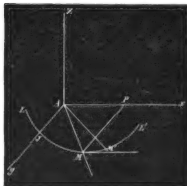
$$y dx - x dy = C dt$$

$$x dz - z dx = C' dt$$

$$z dy - y dz = C'' dt,$$

wo C, C', C'' Constanten sind.

Ist nun LML' (i. nebensteb. Fig.) die Projection der Bahnlinie auf die Ebene der Coordinaten x und y , M die Projection des bewegten Körpers am Ende der Zeit t , $AP = x$ seine Abscisse und $PM = y$ seine Ordinate, so ist der Sector JAM = Fläche $JAPM$ - Dreieck APM . Dieses Dreieck ist aber $= \frac{1}{2} xy$, und wenn am Ende der Zeit $t + dt$, M' die Projection des Körpers ist, so wird der Radiusvector



der Projection während der Zeit dt die Fläche MAM' beschreiben, die das Differential der Fläche JAM oder von $JAPM - APM$ ist. Es ist aber das Differential von $JAPM = y dx$ und vom Dreieck $APM = \frac{1}{2} x dy + \frac{1}{2} y dx$, also $d. JAM = \frac{1}{2} (y dx - x dy)$, und dies ist auch, mit Rücksicht auf die erste der drei obigen Gleichungen, $= \frac{1}{2} C dt$. D. h. die Fläche, welche der Radiusvector der Projection M des Körpers während der Zeit dt beschreibt, ist eine beständige Größe $= \frac{1}{2} C dt$, und daher auch die während der Zeit t beschriebene Fläche dieser Zeit proportional und gleich $= \frac{1}{2} Ct$. Dasselbe gilt von den Projectionen des Körpers auf die Ebenen der x, z und y, z , wo man dann für die beschriebenen Flächen $\frac{1}{2} C't$ und $\frac{1}{2} C''t$ hat.

Wird also ein Körper von einer Kraft getrieben, die ihm beständig nach einem festen Punkt zieht, so beschreiben die Radii Vectores der Bahn Flächenräume (Sectoren), die den Zeiten, welche während ihrer Beschreibung verfließen, proportional sind. Dies ist ein bekanntes Gesetz der Centralbewegung (s. Artikel Planeten, Bd. V. S. 341 ff.) —

Wenn auf ein System von materiellen Punkten oder auch auf ein System von Körpern, die mit einander verbunden sind, irgend welche Kräfte einwirken, so wird jeder einzelne materielle Punkt oder Körper vermöge des Zusammenhanges, der zwischen ihnen besteht, eine Bewegung annehmen, die verschieden von derjenigen ist, welche derselbe angenommen haben würde, wenn er ganz unabhängig von den anderen, also ganz frei im Raum wäre. Alle materiellen Punkte werden in jedem Moment unendlich kleine Geschwindigkeiten haben, die verschieden von denen sind, die sie von denselben Kräften erhalten würden, wenn die Punkte ganz frei wären. Wenn aber diese Kräfte bekannt sind, so sind es auch die zuletzt erwähnten Geschwindigkeiten, und es ist nun eine allgemeine Aufgabe der Dynamik, hieraus der Größe und Richtung nach die Zunahme der Geschwindigkeiten, die wirklich statt haben, abzuleiten. Zur Lösung dieser Aufgabe dient der d'Alembert'sche Grundsatz, durch welchen, wie wir bereits erwähnt haben, alle Fragen der Bewegung auf einfache Fragen des Gleichgewichts zurückgeführt werden.

Es bezeichne nun m die Masse eines der materiellen Punkte und uz sei die Geschwindigkeit, welche ihm von der treibenden Kraft, falls er ganz frei wäre, während der unendlich kleinen Zeit z mitgetheilt werden würde. Dagegen sei qz die wirkliche Zunahme der Geschwindigkeit (während der Zeit z), deren Richtung im Allgemeinen verschieden sein wird von der gegebenen Geschwindigkeit uz . Man zerlege nun, nach dem Parallelogramm der Kräfte, uz in zwei andere Geschwindigkeiten qz und pz , von denen die eine qz die zuvor charakterisirte ist. Die bewegende Kraft, welche an dem Punkte angebracht ist, läßt sich durch mu messen, und die den Geschwindigkeiten qz und pz entsprechenden Kräfte durch mq und mp , so daß dann die gegebene Kraft mu die Mittelkraft der Kräfte mq und mp ist. Von der Kraft mq rührt die wirkliche Zunahme der Geschwindigkeit des Punktes her, während die Wirkung der Kraft mp durch die Verbindung, welche zwischen den materiellen Punkten des Systems stattfindet, aufgehoben wird. Darum pflegt man diese Kraft die verlorene zu nennen. Werden nun bezüglich der anderen materiellen Punkte des Systems die entsprechenden Größen durch m', u', p', q' u. s. f. bezeichnet, so müssen die verlorenen Kräfte $mp, m'p', m''p'', \dots$ sich im Gleichgewichte halten, worin denn eben das sogenannte Princip d'Alembert's besteht.

Dieser Satz läßt sich auch noch auf eine andere Weise ausdrücken, welche den Vortheil hat, daß sie unmittelbar zu Gleichungen zwischen den Unbekannten q, q', q'', \dots und den gegebenen Größen u, u', u'', \dots führt *). Da nämlich mu die Mittelkraft von mq und mp ist, so wird auch jede dieser Seitenkräfte die Mittelkraft von mu und der anderen Seitenkraft sein, die in dem ihrer Richtung entgegengesetzten Sinne gewonnen werden muß. Wenn man daher eine jede der verlorenen Kräfte $mp, m'p', m''p'', \dots$ durch die zwei Kräfte, deren Mittelkraft sie ist, ersetzt, so besteht das d'Alembert'sche Princip darin, daß zwischen den gegebenen Kräften, die auf alle Punkte eines Systems materieller Punkte wirken, und den Kräften, von welchen die unendlich kleinen Zunahmen der Geschwindigkeit herrühren, Gleichgewicht statt hat, falls diese letzteren Kräfte in dem ihren Richtungen entgegengesetzten Sinne genommen werden. Nimmt man daher die Kräfte $mq, m'q', m''q'', \dots$ nachdem sie bestimmt sind, in dem ihren Richtungen entgegengesetzten Sinne und setzt sie mit den gegebenen Kräften $mu, m'u', m''u'', \dots$ zusammen, so hat man die verlorenen Kräfte $mp, m'p', m''p'', \dots$ von denen die Spannungen der Fäden, der elastischen Stäbe und überhaupt aller Verbindungen, welche zwischen verschiedenen materiellen Punkten eines Systems stattfinden können, herrühren, und ebenso auch die Druckwirkungen auf gegebenen Oberflächen oder krumme Linien, wenn die materiellen Punkte genöthigt sind, auf denselben zu bleiben. So zerfällt also die gegebene Kraft, welche auf die materiellen Punkte wirkt, in zwei Theile; der eine Theil dient zur Abänderung der Bewegung, während der andere Theil, den man als aufgehoben oder verloren betrachten kann, die bezeichneten Spannungen oder Drucke hervorbringt und keinen Einfluß auf die Geschwindigkeit hat.

Zur Erläuterung wählen wir ein einfaches, bekanntes Beispiel.

Zwei schwere Körper seien an den Enden eines unausdehnbaren Fadens befestigt und mögen auf zwei schiefen Ebenen liegen, die dachförmig an einander gefügt sind. Ist h die gemeinschaftliche Höhe beider Ebenen, l die Länge der einen, l' die der anderen, M die Masse des auf der ersten Ebene liegenden Körpers, M' die Masse des anderen, und g die Beschleunigung der Schwere, so ist die beschleunigende Kraft des ersten Körpers nach der Richtung der Ebene $= \frac{gh}{l}$, die des zweiten $= \frac{gh}{l'}$. Ist nun ferner am Ende der Zeit t die gemeinschaftliche Geschwindigkeit aller Punkte von M gleich v , und die aller Punkte von M' gleich v' , so werden während der Zeit dt die Größen v und v' um dv und dv' zunehmen. Wenn aber die beiden Körper frei wären, so würden sie während derselben Zeit von Seiten der beschleunigenden Kräfte die positiven Geschwindigkeiten $\frac{gh}{l} dt$, und $\frac{gh}{l'} dt$ empfangen. Vermöge der Verbindung beider Körper sind nun die Geschwindigkeiten, die sie während der Zeit dt verlieren, $\frac{gh}{l} dt - dv$ für M , und $\frac{gh}{l'} dt - dv'$ für M' .

*) Poisson, Traité de Mécanique, deutsch von Stern Th. II. S. 2.

Die Größen der Bewegung, die diesen Geschwindigkeiten entsprechen, müssen aber, nach dem eben ausgesprochenen Princip, sich im Gleichgewichte halten. Also

$$M \left(\frac{gh}{l} dt - dv \right) = M' \left(\frac{gh}{l'} dt - dv' \right).$$

Die beiden mit einander verbundenen Körper legen auf den schiefen Ebenen gleiche Wege zurück, die beiden Geschwindigkeiten v, v' sind gleich, haben aber entgegengesetzte Zeichen, da der eine sinkt, während der andere steigt. Man hat demnach $v' = -v$, $dv' = -dv$, und wenn man diesen Werth von dv' in die obige Gleichung substituirt, $dv = \frac{(Ml' - M'l)h}{(M + M')ll'} g dt$, oder integrirt

$$v = \frac{(Ml' - M'l)h}{(M + M')ll'} gt + C, \text{ wo die Constante } C = 0 \text{ ist, wenn die Körper ihre Bewegung vom Zustande der Ruhe aus beginnen.}$$

Die Bewegung von M ist gleichförmig beschleunigt oder verzögert, je nachdem $Ml' > M'l$ oder $Ml' < M'l$ ist. Das Entgegengesetzte findet, wegen der Gleichung $v' = -v$, in Bezug auf M' statt.

Die Kraft, welche jeder Körper, in Folge seiner Verbindung mit dem anderen verliert, bewirkt eine Spannung des Fadens, deren Werth $S = M \left(\frac{gh}{l} - \frac{dv}{dt} \right)$ ist. Substituirt man hierin für dv seinen obigen Werth, so erhält man $S = \frac{(l + l') MM' gh}{(M + M') ll'}$ und dieser Werth reducirt sich auf $\frac{Mgh}{l}$ falls Gleichgewicht stattfindet, wo dann $Ml' = M'l$ ist.

Lagrange hat nun das sogenannte Princip der virtuellen Geschwindigkeiten mit dem d'Alembert'schen Princip in Verbindung gesetzt *).

Ist m die Masse eines materiellen Punktes, der mit anderen zu einem System verknüpft ist, und sind am Ende der Zeit t , die vom Anfang der Bewegung an gerechnet ist, x, y, z die drei rechtwinkligen Coordinaten von m , ferner X, Y, Z die Seitenkräfte der an diesem materiellen Punkt angebrachten beschleunigenden Kraft, die nach den Verlängerungen von x, y, z im positiven Sinne gerichtet

*) Einen Satz, der sowohl das Grundgesetz des Gleichgewichtes als auch das der Bewegung in sich begreift, hat auch Gauß (Grelle's Journ. für die reine und angew. Mathematik Bd. IV. S. 232) aufgestellt und bewiesen. Dieser Satz heißt: „Die Bewegung eines Systems materieller, auf was für eine Art unter einander verbundener Punkte, deren Bewegung zugleich an was immer für äußere Beschränkungen gebunden ist, geschieht in jedem Augenblicke in möglichst größter Uebereinstimmung mit der freien Bewegung, oder unter möglich kleinstem Zwange, indem man als Maß des Zwanges, den das System in jedem Zeittheilchen erleidet, die Summe der Producte aus dem Quadrat der Ablenkung jedes Punktes von seiner freien Bewegung in seine Masse betrachtet.“ —

Zugleich verweisen wir hier in anderer Rücksicht auf eine Abhandlung von Gauß in den Resultaten aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins, von anno 1839, betreffend: Allgemeine Lehrrsätze in Bezug auf die im verkehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung wirkenden Anziehungs- und Abstößungskräfte.

Zur Orientirung im Gebiete der mathematischen Physik empfehlen wir aber eine Schrift von Clausius: die Potentialfunction und das Potential, ein Beitrag zur mathemat. Physik. Leipzig 1859.

sind, so sind die nach den Richtungen von X, Y, Z wirkenden Seitenkräfte der Kraft, welche der Punkt während der Zeit dt verloren hat, $m \left(X - \frac{d^2 x}{dt^2} \right)$, $m \left(Y - \frac{d^2 y}{dt^2} \right)$, $m \left(Z - \frac{d^2 z}{dt^2} \right)$.

Ganz ähnliche Größen gelten für die übrigen Punkte m', m'', \dots des Systems. Setzt man nun in die Gleichung (2) S. 1123 d. Art. an die Stelle von X, Y, Z die drei oben aufgestellten Ausdrücke, so erhält man als allgemeine Gleichung der Bewegung

$$\sum m \left(X - \frac{d^2 x}{dt^2} \right) \delta x + \sum m \left(Y - \frac{d^2 y}{dt^2} \right) \delta y + \sum m \left(Z - \frac{d^2 z}{dt^2} \right) \delta z = 0, \quad (1)$$

wo sich das Summenzeichen Σ auf alle materiellen Punkte des Systems erstreckt. Die Verbindungen dieser Punkte werden durch Gleichungen $L = 0, L' = 0, L'' = 0, \dots$ ausgedrückt, in denen L, L', L'', \dots gegebene Functionen der Veränderlichen $x, y, z, x', y', z', \dots$ sind, und die auch die Zeit t entwickeln können. Die unendlich kleinen Verrückungen, welche der Grundsatz der virtuellen Geschwindigkeiten verlangt, und die nach den Richtungen der Coordinaten, durch $\delta x, \delta y, \delta z$ für den Punkt m , durch $\delta x', \delta y', \delta z'$ für den Punkt m' u. s. w. ausgedrückt sind, müssen den Bedingungen des Systems, wie solche am Ende der Zeit t vorliegen, Genüge leisten. Und daher müssen auch die Gleichungen $L = 0, L' = 0, L'' = 0, \dots$ noch stattfinden, wenn man $x + \delta x, y + \delta y, z + \delta z, x' + \delta x', \dots$ an die Stelle von $x, y, z, x', y', z', \dots$ setzt. Es gelten dann die Gleichungen (a) S. 1124 d. Art., mittelst deren man im ersten Theil der obigen Gleichung (1) eine gewisse Anzahl der Größen dx, dy, \dots eliminiren kann. Die Coefficienten einer jeden der übrig bleibenden Größen setzt man gleich Null. Verfährt man nun hier, wie dort, indem man mit unbestimmten Factoren $\lambda, \lambda', \lambda'', \dots$ multiplicirt, so gelangt man zu folgenden Gleichungen:

$$\begin{aligned} m \frac{d^2 x}{dt^2} &= m X + \lambda \frac{dL}{dx} + \lambda' \frac{dL'}{dx} + \lambda'' \frac{dL''}{dx} + \dots \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} &= m Y + \lambda \frac{dL}{dy} + \lambda' \frac{dL'}{dy} + \lambda'' \frac{dL''}{dy} + \dots \\ m \frac{d^2 z}{dt^2} &= m Z + \lambda \frac{dL}{dz} + \lambda' \frac{dL'}{dz} + \lambda'' \frac{dL''}{dz} + \dots \end{aligned}$$

u. s. f. in Bezug auf x', y', z' .

Die Factoren $\lambda, \lambda', \lambda'', \dots$ geben die Kräfte an, welche von der Verbindung der Punkte des Systems herrühren, oder auch von dem Widerstande der Oberflächen und krummen Linien, auf welchen sie sich vielleicht bewegen müssen.

Enthalten die Gleichungen $L = 0, L' = 0, L'' = 0, \dots$ nur die wechselseitigen Abstände der Punkte des Systems, und ist keiner dieser Punkte fest oder der Bedingung, auf einer Oberfläche oder krummen Linie zu bleiben, unterworfen, so läßt sich die Bewegung eines solchen freien Systems in zwei einfachere Bewegungen zerlegen, nämlich in eine, allen Punkten des Systems gemeinschaftliche, progressive, welche die des Schwerpunktes ist, und in eine drehende um diesen

Punkt. Da man alle Punkte des Systems, nach der Beschaffenheit des letzteren, gleichzeitig um dieselbe Größe nach einer beliebigen Richtung verrücken kann, so ist, wenn man durch α, β, γ die Projectionen dieser gemeinsamen Verrückung auf die drei Coordinatenachsen bezeichnet, $\alpha = \delta x = \delta x' = \delta x''$ u., $\beta = \delta y = \delta y' = \delta y''$ u., $\gamma = \delta z = \delta z' = \delta z''$ u.

Daher giebt in diesem Falle die Gleichung (I)

$$\alpha \sum m \left(X - \frac{d^2 x}{dt^2} \right) + \beta \sum m \left(Y - \frac{d^2 y}{dt^2} \right) + \gamma \sum m \left(Z - \frac{d^2 z}{dt^2} \right) = 0.$$

Diese Gleichung zerlegt sich aber, da α, β, γ von einander unabhängig sind, in folgende:

$$\sum m \frac{d^2 x}{dt^2} = \sum m X, \quad \sum m \frac{d^2 y}{dt^2} = \sum m Y, \quad \sum m \frac{d^2 z}{dt^2} = \sum m Z. \quad (II)$$

Sind x_1, y_1, z_1 die Coordinaten des Schwerpunktes des Systems, und setzt $x_1 \sum m = \sum m x, y_1 \sum m = \sum m y, z_1 \sum m = \sum m z$, so folgt $\frac{d^2 x_1}{dt^2} \sum m =$

$$\sum m \frac{d^2 x}{dt^2}, \quad \frac{d^2 y_1}{dt^2} \sum m = \sum m \frac{d^2 y}{dt^2}, \quad \frac{d^2 z_1}{dt^2} \sum m = \sum m \frac{d^2 z}{dt^2}, \quad \text{oder} \quad \frac{d^2 x_1}{dt^2} \sum m = \sum m X,$$

$$\frac{d^2 y_1}{dt^2} \sum m = \sum m Y, \quad \frac{d^2 z_1}{dt^2} \sum m = \sum m Z.$$

Diese letzten drei Gleichungen sind die Differentialgleichungen der Bewegung des Schwerpunktes. Man erkennt aus ihnen, daß der Schwerpunkt eines freien Systems sich so bewegt, als ob die ganze Masse in ihm vereinigt wäre und alle beschleunigenden Kräfte nach ihren Richtungen an ihm angebracht wären.

Die Gleichungen der Umdrehungsbewegung eines völlig freien Systems um einen festen Punkt sind aber die folgenden, die als eine Verbindung der Gleichungen (II) erscheinen.

$$\left. \begin{aligned} \sum m \left(x \frac{d^2 y}{dt^2} - y \frac{d^2 x}{dt^2} \right) &= \sum m (x Y - y X), \\ \sum m \left(z \frac{d^2 x}{dt^2} - x \frac{d^2 z}{dt^2} \right) &= \sum m (z X - x Z), \\ \sum m \left(y \frac{d^2 z}{dt^2} - z \frac{d^2 y}{dt^2} \right) &= \sum m (y Z - z Y), \end{aligned} \right\} \quad (III)$$

Werden die Punkte des Systems, unabhängig von ihren gegenseitigen Wirkungen, durch Kräfte getrieben, die gegen den Anfangspunkt der Coordinaten gerichtet sind, so verhalten sich die Seitenkräfte $m X, m Y, m Z$ der an jedem Punkte angebrachten Kraft wie die Coordinaten x, y, z desselben. Es ist demnach $x Y = y X, z X = x Z, y Z = z Y$. Die zweiten Glieder der Gleichungen (III) werden also verschwinden.

Nimmt man nun bei einem System, das völlig frei ist oder nur einen festen Punkt besitzt, und dessen Punkte ihrer gegenseitigen Wirkung und Kräften unterliegen, die nach dem festen Punkte gerichtet sind, diesen letzteren zum Anfangspunkte der Coordinaten, so hat man

$$\sum m \left(x \frac{d^2 y}{dt^2} - y \frac{d^2 x}{dt^2} \right) = 0$$

$$\sum m \left(z \frac{d^2 x}{dt^2} - x \frac{d^2 z}{dt^2} \right) = 0$$

$$\sum m \left(y \frac{d^2 z}{dt^2} - z \frac{d^2 y}{dt^2} \right) = 0.$$

Multipliziert man diese Gleichungen mit dt , so läßt sich leicht bemerken, daß

$$x \frac{d^2 y}{dt} - y \frac{d^2 x}{dt} = d \left(x \frac{dy}{dt} - y \frac{dx}{dt} \right), \quad z \frac{d^2 x}{dt} - x \frac{d^2 z}{dt} = d \left(z \frac{dx}{dt} - x \frac{dz}{dt} \right),$$

$$y \frac{d^2 z}{dt} - z \frac{d^2 y}{dt} = d \left(y \frac{dz}{dt} - z \frac{dy}{dt} \right).$$

Führt man nun diese Werthe in die vorigen Gleichungen ein, und integriert, so ist

$$\sum m \left(x \frac{dy}{dt} - y \frac{dx}{dt} \right) = C$$

$$\sum m \left(z \frac{dx}{dt} - x \frac{dz}{dt} \right) = C'$$

$$\sum m \left(y \frac{dz}{dt} - z \frac{dy}{dt} \right) = C'',$$

wo C , C' , C'' drei willkürliche Constanten sind.

Bei der Bewegung eines freien Systems, wo die Punkte nur ihren gegenseitigen Wirkungen oder Kräften unterliegen, die nach einem festen Punkte gerichtet sind, werden die Momente der Bewegungsgrößen aller Punkte in Bezug auf drei rechtwinklige Axen, die sich in dem festen Punkte schneiden, constante Größen sein. Die eingeklammerte Größe in den letzten drei Gleichungen drückt aber die Fläche aus, welche die Projection des vom Anfangspunkte der Coordinaten nach dem betreffenden materiellen Punkte m gerichteten Zeitstrahles (Radiusvector) resp. auf der Coordinatenebene xy , xz , yz beschreibt. Und die Gleichungen selbst besagen auch, daß die Summe der Producte aus jeder Masse m in die Fläche, welche der Radiusvector auf einer der genannten Ebenen in einer gewissen Zeit beschreibt, dieser Zeit proportional. Diesem Satze von der Proportionalität der Flächenräume und der zu ihrer Beschreibung verwendeten Zeit sind wir schon einmal (S. 1127 ff.) bei Betrachtung der Centralbewegung begegnet.

Enthalten die Gleichungen $L = 0$, $L' = 0$, $L'' = 0$, ... welche die Verbindung der materiellen Punkte eines Systems ausdrücken, die Zeit nicht entwickelt, so kann man, um den Gleichungen (a) S. 1124 d. Art. Genüge zu leisten, anstatt der virtuellen Verrückungen δx , δy , δz , $\delta x'$, ... die wirklichen Bewegungen dx , dy , dz setzen. Es sind dann die Gleichungen (a) die vollständigen Differentiale der Gleichungen $L = 0$, $L' = 0$, ... also $dL = 0$, $dL' = 0$ Sind aber die Größen L , L' , ... während der ganzen Dauer der Bewegung Null, so sind es auch ihre Integrale. Setzt man nun in die Gleichung (I) S. 1132 statt δx , δy , δz die Werthe dx , dy , dz , so erhält man aus ihr

$$\sum m \left(\frac{d^2 x}{dt^2} dx + \frac{d^2 y}{dt^2} dy + \frac{d^2 z}{dt^2} dz \right) = \sum m (X dx + Y dy + Z dz).$$

Bezeichnen v, v', \dots die Geschwindigkeiten der Punkte m, m', \dots am Ende der Zeit t , so hat man für einen beliebigen Punkt m , $\frac{dx^2 + dy^2 + dz^2}{dt^2} = v^2$,

und hieraus durch Differentiation $\frac{1}{2} d \cdot v^2 = \frac{d^2x \cdot dx + d^2y \cdot dy + d^2z \cdot dz}{dt^2}$.

Sonach erhält man für die vorige Gleichung

$$\frac{1}{2} d \cdot \sum m v^2 = \sum m (X dx + Y dy + Z dz). \quad (IV)$$

Da man nun das halbe Product aus dem Quadrate der Geschwindigkeit v in die Masse m eines materiellen Punktes, also $\frac{1}{2} m v^2$ die lebendige Kraft des Punktes nennt, so ist $\frac{1}{2} \sum m v^2$ die lebendige Kraft des Systems. Enthält aber das System keine Kraft, die nach einem fremden beweglichen Mittelpunkte gerichtet ist, wodurch die Zeit t in die Ausdrücke von X, Y, Z kommen würde, sondern sind die Punkte m, m', m'', \dots nur ihren wechselseitigen Wirkungen und von festen Mittelpunkten ausgehenden Anziehungen oder Abstosungen unterworfen, welche beliebige Functionen des Abstandes sind, so ist $X dx + Y dy + Z dz$ ein genaues Differential, und es läßt sich $\sum m (X dx + Y dy + Z dz) = d\varphi(x, y, z, x', y', z', \dots)$ setzen, wo φ eine gegebene Function der Coordinaten von m, m', m'', \dots ist. Durch Integration der Gleichung (IV) erhält man dann $\frac{1}{2} \sum m v^2 = \varphi(x, y, z, x', y', z', \dots) + C$. Sind v_0, v_0', \dots die anfänglichen Geschwindigkeiten von m, m', \dots und a, b, c die anfänglichen Coordinaten von m u. s., so hat man für den Anfang der Bewegung

$$\frac{1}{2} \sum m v_0^2 = \varphi(a, b, c, a', b', c', \dots) + C,$$

und durch Subtraction dieser Gleichung von der vorigen

$$\frac{1}{2} \sum m v^2 - \frac{1}{2} \sum m v_0^2 = \varphi(x, y, z, x', y', z', \dots) - \varphi(a, b, c, a', b', c', \dots). \quad (V)$$

Nun sind $\frac{1}{2} \sum m v_0^2$ und $\frac{1}{2} \sum m v^2$ die Summen der lebendigen Kräfte aller Punkte des Systems im Anfang der Bewegung und zu einer gewissen Zeit t . Aus der Gleichung folgt aber, daß die Differenz $\frac{1}{2} \sum m v^2 - \frac{1}{2} \sum m v_0^2$ nur von den Coordinaten der Körper in diesen beiden Zeitpunkten, nicht aber von den Wegen abhängt, die sie zu durchlaufen haben, um von ihren anfänglichen Lagen zu denen überzugehen, die sie am Ende der Zeit t haben. Dies ist nun der allgemeine Satz der sogenannten lebendigen Kräfte, von welchem in der Theorie der Maschinen vielfach Gebrauch gemacht wird.

Bezeichnet P eine bewegende Kraft, und sind X, Y, Z ihre Seitenkräfte nach den Axen der x, y, z , ist ferner ds der Raum, welchen ihr Angriffspunkt während der Zeit dt beschreibt, dp die Projection von ds auf die Richtung von P und ϑ der Winkel, welchen ds und dp einschließen, so hat man $dp = ds \cos \vartheta$, wo nach bekannten Entwicklungen der analytischen Geometrie $\cos \vartheta = \cos \alpha \cos \lambda + \cos \beta \cos \mu + \cos \gamma \cos \nu$, wenn nämlich 1) α, β, γ die Winkel sind, welche die Richtung der Kraft P mit Linien einschließt, die den Axen der x, y, z parallel sind, und 2) λ, μ, ν die Winkel, welche ds mit seinen Projectionen dx, dy, dz bildet, so daß dann $dx = ds \cos \lambda, dy = ds \cos \mu, dz = ds \cos \nu$.

Man hat nun für den zweiten Theil der Gleichung (IV)

$$m (X dx + Y dy + Z dz) = P dp.$$

Da nun aber bei jeder Maschine Widerstände vorkommen, welche von der bewegenden Kraft zu überwinden sind, so haben wir im zweiten Theile der Gleichung (IV) noch ein anderes Glied zu unterscheiden, das eben von dem Wider-

stande herrührt. Sei daher Q eine der widerstehenden Kräfte und dq die Projection des Weges auf die Verlängerung ihrer Richtung, nämlich des Weges, den ihr Angriffspunkt während der Zeit dt beschreibt. Man hat dann noch $-Q dp$ jenem ersten Gliede beizufügen, und so erscheint $\frac{1}{2} d \cdot \sum m v^2 = \sum P dp - \sum Q dq$, wo sich im zweiten Theile das Summenzeichen \sum auf alle bewegenden und widerstehenden Kräfte der Maschine erstreckt. Integriert man und bezeichnet die Anfangsgeschwindigkeit (für $t = 0$) durch v_0 , so ist $\frac{1}{2} \sum m v^2 - \frac{1}{2} \sum m v_0^2 = \int \sum P dp - \int \sum Q dq$.

Diese Gleichung ist dieselbe wie die Gleichung (V), falls sich die Integration des zweiten Theiles vollziehen läßt.

Das Integral $\int \sum P dp$ nennt man die Arbeit der bewegenden Kraft, und das Integral $\int \sum Q dq$ die Arbeit der widerstehenden Kraft.

Wenn indessen der Ausdruck $\frac{1}{2} \sum m v^2 - \frac{1}{2} \sum m v_0^2$ die Zunahme der lebendigen Kraft bedeutet, welche während der Zeit von t_0 bis t in einem Systeme stattgefunden hat, so läßt sich beweisen, daß die während einer solchen Zeit in dem Systeme entstehende Vermehrung der lebendigen Kraft gleich ist der während derselben Zeit von den Kräften verrichteten Arbeit.

Geht aber die Maschine aus dem Zustande der Ruhe in Thätigkeit über, so hat man statt der vorhergehenden Gleichung $\frac{1}{2} \sum m v^2 = \int \sum P dp - \int \sum Q dq$.

Wenn nun ein Ueberschuß der bewegenden Kraft über die Widerstände noch während der Bewegung fortbesteht, so muß eine fortwährende Zunahme der Geschwindigkeit stattfinden. Allein in der Wirklichkeit geschieht es fast immer, daß entweder die Widerstände zugleich mit der Geschwindigkeit zunehmen, oder daß die bewegende Kraft selbst bei wachsender Geschwindigkeit geringer wird. So wird denn meistens bald, durch Steigerung der Hindernisse und Verminderung der Kraft, der Kraftüberschuß ausgeglichen; es findet nun keine Beschleunigung der Bewegung mehr statt, sondern die Maschine gewinnt einen gleichförmigen Gang, der so lange besteht, als das nunmehrige Verhältniß zwischen Kraft und Widerstand keine Veränderung erfährt (s. Art. Maschine, Bd. IV. S. 883, 887 ff.). Für diesen Beharrungszustand der Maschine hat man dann $\sum P dp = \sum Q dq$, so daß die Arbeit der bewegenden Kräfte in jedem Augenblicke gleich ist der Arbeit der widerstehenden Kräfte.

Wir wollen nun hier noch hervorheben, daß sich in neuerer Zeit zwischen den theoretisch (von Navier, Poisson, Cauchy, Lamé und Clapeyron) abgeleiteten Formeln für das Gleichgewicht und die Bewegung elastischer fester Körper und der Wirklichkeit eine gewisse Incongruenz herausgestellt hat. Hierher gehört folgendes von Wertheim ermittelte Factum (s. Elasticität und Zusammendrückbarkeit). Wenn ein elastischer Körper, der etwa die Gestalt eines prismatischen Stabes hat, durch ein angebrachtes Gewicht etwas gedehnt wird, so daß seine ursprüngliche Länge l in $(1 + \delta)$ übergeht, so nimmt sein Volumen nicht in dem Verhältnisse von $1 : 1 + \delta$ zu, da nämlich mit der Längenausdehnung zugleich eine seitliche Zusammenziehung stattfindet, welche die Vergrößerung des Volumens beeinträchtigt. Die wirklich entstehende Volumvermehrung würde nun nach den theoretischen Formeln $= \frac{1}{2} \delta$ sein, während die Versuche Wertheim's zu dem Werthe $\frac{1}{3} \delta$ führten.

Bei der Ableitung jener Formeln ist man von der Annahme ausgegangen, daß die Kraft, mit der ein Molecül auf die umgebenden wirkt, nach allen Rich-

tungen gleich sei, so daß die Anziehung oder Abstoßung zwischen irgend zwei Molecülen, unabhängig von ihrer sonstigen Lage, nur als eine Function ihres gegenseitigen Abstandes (r) betrachtet werden könne. Diese Function muß dann, wenn man außerdem noch voraussetzt, daß alle Molecüle des Körpers unter einander gleich seien, für je zwei Molecüle dieselbe sein, so daß sie für den ganzen Körper durch $f(r)$ bezeichnet werden kann.

Glaucius*) hat jedoch darauf hingewiesen, daß die eben erwähnten Annahmen für die Bildung jener Formeln keineswegs nothwendig seien, und daß in denselben daher auch nicht der Grund liegen könne, weshalb die Formeln nicht ganz mit den Beobachtungen übereinstimmen. Die einzelnen Molecüle können nämlich sehr wohl nach verschiedenen Richtungen mit ungleicher Kraft wirken, ohne daß dies irgendwie wahrzunehmen ist, falls nur diese Richtungen nicht bei allen dieselben sind, sondern beliebig durch einander gehen. Auch können die Molecüle eines im Ganzen unkrystallinischen Körpers in krystallinische Gruppen geordnet sein; nur müssen diese Gruppen selbst unregelmäßig an einander gefügt, und überdies klein genug sein, so daß in den kleinsten Flächen, welche wir untersuchen können, doch schon so viele derselben enthalten sind, daß sich von ihren Wirkungen ein Mittelwerth herausstellt, der natürlich nach allen Richtungen derselbe ist. Dieser Mittelwerth allein fällt in die gewöhnliche Beobachtung, und von ihm kann auch nur die Rede sein, wenn man einen Körper als nach allen Richtungen gleich elastisch annimmt. Und mit ähnlichen Mittelwerthen muß man sich auch bei der Untersuchung der Homogenität und anderer Eigenschaften der Körper begnügen.

Obwohl Poisson**) bei der ersten Entwicklung seiner Formeln gleichfalls von der Annahme ausging, daß die Molecüle nach allen Richtungen mit gleicher Kraft wirken, so hat er doch später***) diese Annahme nicht festgehalten. Den wesentlichen Unterschied zwischen den festen und flüssigen Körpern sieht er vielmehr darin, daß in den letzteren die Theilchen im Verhältniß zu ihren Dimensionen so weit von einander entfernt sind, daß man in Bezug auf die Wirkung, die sie auf einander äußern, ihre ganzen Massen, so wie die dazu gehörigen Quantitäten Wärmestoffe, als von ihren Schwerpunkten aus wirkend ansehen kann, und die Gestaltung der Theilchen dabei ohne Einfluß erscheint. Dagegen seien in festen Körpern die Theilchen einander hinreichend nahe, so daß die Wirkung ihrer einzelnen Punkte auf einander in Betracht kommen könne, und daß deshalb auch ihre Wirkung auf einander verschieden ausfallen werde, je nachdem sie sich diesen oder jenen Flächen zuehrten, auch wenn der Abstand der Schwerpunkte dabei un geändert bliebe. Bei unkrystallinischen festen Körpern aber, in denen, wie man annehmen müsse, die Molecüle nicht alle die entsprechenden Flächen nach derselben Seite lehren, sondern in dieser Beziehung ganz unregelmäßig liegen, müßten sich jene Unterschiede so ausgleichen, daß man nur eine mittlere vom Schwerpunkte ausgehende Kraft zu betrachten brauche, wodurch man wieder auf die obige Function $f(r)$ geführt werde.

*) Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 46.

**) Mem. de l'Acad. T. VIII.

***) Journ. d'école polytechn. C. XX.

Die Gültigkeit der gewöhnlichen Formeln (für das Gleichgewicht und die Bewegung elastischer, fester Körper) bedarf nun keiner anderen Bedingung, als daß der betreffende Körper in dem eben erläuterten Sinne homogen und nach allen Richtungen gleich elastisch sei. Diese Bedingung müsse man aber, bemerkt Clausius*), bei den von Wertheim benutzten Körpern in ihrem ursprünglichen Zustande, wenigstens als sehr nahe, erfüllt ansehen; und doch widerspreche seine Beobachtung den Formeln. Demnach scheint ihm nichts weiter übrig zu bleiben, als anzunehmen, „daß die Körper unter der Einwirkung fremder Kräfte eine innere Veränderung erleiden, welche in etwas Anderem besteht, als einer bloßen Verschiebung der Molecüle, da diese in den Formeln schon berücksichtigt ist, und daß dadurch die Körper für die Dauer der Einwirkung jene als Bedingung gestellten Eigenschaften theilweise verlieren können.“

Zur Erläuterung und Bestätigung dieses Satzes, aus welchem sich der Wertheim'sche Versuch erkläre, erinnert Clausius an die sogenannte elastische Nachwirkung (s. Art. Elasticität) und an die Bestimmungen des Elasticitätscoefficienten eines Stabes: einerseits aus der durch ein Gewicht hervorgebrachten Dehnung, andererseits aus dem beobachteten Longitudinal- und Transversalton. Bekanntlich findet man in den beiden letzteren Fällen ziemlich übereinstimmende Werthe, die aber fast immer beträchtlich größer sind als der im ersten Falle erhaltene. Wertheim erklärt dies aus der Wärme, indem nämlich, ähnlich wie es in der Luft geschieht, die bei der Wellenbewegung abwechselnd frei und latent werdende Wärme die Fortpflanzung des Schalles beschleunige. Da jedoch bei festen und tropfbar flüssigen Körpern die durch Zusammendrückung oder Ausdehnung entstehende Erwärmung oder Erkältung äußerst gering ist, so kann nach Clausius die hier in Rede stehende Erscheinung aus der frei werdenden Wärme allein nicht erklärt werden, sondern es ist noch ein anderer Grund zu berücksichtigen, der sich in der elastischen Nachwirkung darbietet. Diese könne nämlich, wie auch Seebeck**) bemerkt habe, während der kurzen Dauer einer Schwingung nur wenig in Wirksamkeit treten, wogegen bei den Dehnungsversuchen dazu hinlänglich Zeit sei, so daß diese letzteren eine verhältnißmäßig zu große Verlängerung, und daher einen zu kleinen Elasticitätscoefficienten geben müßten.

In Rücksicht der mathematischen Behandlung der Elasticität unter der neuen von Clausius gemachten Annahme ist der Zustand des Gleichgewichts von dem der Bewegung zu unterscheiden. Haben im ersten Falle die Kräfte lange genug gedauert, um die vollständige Nachwirkung hervorzubringen, so lassen sich die Cauchy'schen Formeln anwenden, welche für continuirliche Körper gelten sollen, und abgesehen vom äußeren Druck noch zwei unbestimmte Constanten enthalten, deren Verhältniß aber für jeden Körper besonders zu ermitteln wäre. Für den Zustand der Bewegung könnte man, bemerkt Clausius, wenn man voraussetzte, daß die Schwingungen zu schnell geschähen, als daß während der Zeit einer Schwingung eine erhebliche Nachwirkung möglich wäre, die bisher gebräuchlichen Formeln beibehalten; wolle man aber die elastische

*) A. a. O. S. 89.

**) Programm zur öffentlichen Prüfung der technischen Bildungsanstalt und der Bau-gewerkschule zu Dresden 1846. S. 33.

Nachwirkung auch hier in Betracht ziehen, so müsse man die Entwicklungen dahin ändern, daß man bei der Bestimmung der Spannungen nicht nur den augenblicklich stattfindenden, sondern auch den vorausgegangenen Zustand des Körpers berücksichtige. Die so erhaltenen Formeln würden dann außer den gewöhnlichen Gesetzen über die Dauer, Fortpflanzungsart u. der Schwingungen noch manche Eigenthümlichkeiten derselben darstellen, die in den bisherigen Formeln nicht enthalten sind. So müßten nach den letzteren z. B. die Schwingungen eines Körpers, abgesehen von Hindernissen (wie Luftwiderstand, Reibung und dergleichen), ewig in unveränderter Stärke fortbauern, was doch der Erfahrung widerspreche, da verschiedene Körper ungleich lange tönen, selbst unter Umständen, wo dieser Unterschied nicht durch äußere Ursachen herbeigeführt sein könne. Der Grund müsse also in der Wirkungsart der inneren Kräfte selbst liegen, wie denn auch W. Weber *) gezeigt hat, daß er in der elastischen Nachwirkung zu finden sei.

Hat man einmal zugegeben, bemerkt Clausius, daß die Kraft eines Molecüls nicht gleichmäßig um seinen Schwerpunkt wirkt, sondern je nach den Richtungen verschieden, so liegt es nahe, noch weiter anzunehmen, „daß, wenn ein Körper fremden Kräften unterworfen wird, die von verschiedenen Seiten ungleich auf ihn wirken, er also z. B. nach einer Dimension gedehnt wird, während er nach anderen Dimensionen frei bleibt oder gar zusammengedrückt wird, dann die Molecüle neben ihrer Verschiebung sich auch etwas drehen, indem sie in Bezug auf ihre Kraftwirkungen den ungleichen Spannungen etwas folgen.“ Eine solche Veränderung, die in den bisherigen Formeln nicht vorhergesehen ist, kann nun, indem sie eine theilweise Gleichmäßigkeit in der Lage der Molecüle hervorbringt, zur Folge haben, daß für den ganzen Körper gewisse Richtungen entstehen, in denen die Anziehung stärker oder schwächer ist, als in anderen, wodurch der Körper die Bedingungseigenschaft verliert, nach allen Richtungen gleich elastisch zu sein. Und wenn man noch hinzunimmt, daß die Drehung der Molecüle und ihre nachherige Rückkehr in die alte Lage nicht, wie die bloßen Verschiebungen, unmittelbar beim Eintreten und Aufhören der Kraft erfolgen, sondern einer gewissen, wenn auch bei vielen Körpern nur geringen, Zeit bedürfen, so ist nach der Ansicht von Clausius auch die elastische Nachwirkung vollständig erklärt. —

Schließlich weisen wir noch auf eine Untersuchung von Koosen **) hin über die Fundamentalgesetze für die Elasticität und das Gleichgewicht im Innern homogener Körper. Die Gleichungen, zu den Koosen gelangt, unterscheiden sich von denen, welche Navier, Cauchy, Poisson u. erhielten, durch eine Constante, welche sich auf einen Druck oder Zug bezieht, der von Außen auf die Oberfläche der im Gleichgewicht befindlichen Körper wirkt. Nach Koosen ist eine äußere Kraft unerläßlich, welche nur an der Oberfläche wirkt und den sämtlichen normalen Molecularwirkungen einer Masse auf ein senkrecht zur Oberfläche gerichtete prismatisches Element derselben Masse, nämlich der sogenannten Molecularspannung das Gleichgewicht hält. Der Ursprung dieser Kraft soll in der Wärme liegen, und zwar unter Umständen in der Temperaturungleichheit der umgebenden Substanzen, welche den Körper an seiner Oberfläche berühren.

*) Pogg. Ann. Bd. XXXIV. S. 254.

**) Pogg. Ann. Bd. CI. S. 401.

In Rücksicht der Theorie der relativen Bewegung, die mit dem Foucault'schen Pendelversuche in naher Beziehung steht, sei endlich noch auf eine Arbeit von Phillip's *) verwiesen, in der auch dargethan wird, daß sich die absolute Bewegung eines Systems in eine mittlere Bewegung, welche die Punkte des Systems mit gewissen beweglichen Axen gemein haben, und in eine relative Bewegung in Bezug auf diese Axen zerlegen lasse.

*) Compt. rend. T. XLV. p. 338. Instit. 1857. p. 307 u. 308.

Druckfehler und Berichtigungen zum Sechsten Bande.

Seite 75 Zeile 14 von unten lies $P : Q = CF : CG$ statt $P : Q = CG : CF$, und $P \cdot CG = Q \cdot CF$ statt $P \cdot CF = Q \cdot CG$.

„ 75 „ 11 „ „ „ CF statt CE .

„ 90 „ 11 „ „ „ F' „ F .

„ 133 „ 8 „ oben „ Thaumatrope statt Thaumtrop.

„ 169 „ 10 „ unten „ λ_1 statt λ' .

„ 170 „ 3 „ oben „ $s' = \frac{e}{r + l'}$ statt $s' = \frac{e'}{r + l'}$.

„ 170 „ 4 „ „ „ $e = \frac{ss'}{s - s'} (l' - l)$ statt $e = \frac{ss'}{l - s} (l' - l)$.

„ 170 „ 9 „ „ „ e statt k .

„ 170 „ 10 „ „ „ nur st. nun.

„ 409 „ 1 „ unten „ Fermond st. Fremont.

„ 449 „ 23 „ „ „ dodekaëdrischer st. dodekandrischer.

„ 614 „ 4 „ „ „ Fuego statt Frugo.

Im Art. Wärme lies de la Provostaye statt de la Prevostaye.

Seite 697 Zeile 8 von unten lies im statt ein.

„ 893 „ 7 „ „ „ a statt c .

„ 894 „ 3 „ oben „ esg statt esc .

„ 924 „ 26 „ „ „ von dem statt von den.

„ 924 fehlt der Buchstabe n zwischen c und c' zur Bezeichnung des Durchschnittspunktes der senkrechten Linie cc' mit der Linie ab .

Druck von Otto Wigand in Leipzig.

Sachregister

zum

Physikalischen Lexicon.

1. — 6. Band.

- Mal, elektrischer**, siehe **Fische, elektrische** Bd. III, S. 207, 212 ff.
Abänderungsflächen, f. **Krystall** IV, 373.
Abdampfen I, 1.
Abdrücke organischer Körper, f. **Geologie** III, 313.
Abdrücke (galvanoplastische) von Kupferstichen oder Zeichnungen, f. **Galvanoplastik** III, 393 f.
Abdunsten, f. **Abdampfen**.
Abend I, 2.
Abendpunkt I, 2.
Abendroth, f. **Himmel** III, 794, 800 ff.
Abendröthe, f. **Abendroth**.
Abendstern, f. **Planeten** V, 321, 331.
Abendweite I, 2. **Horizont** III, 883.
Aberration, f. **Abirrung** I, 3.
Accommodationsvermögen des Auges, siehe **Sehen** V, 832 ff., **Sinne** V, 921 ff., **Irradiation** IV, 133.
Abfälle eines Gebirges, f. **Berg** I, 771.
Abgießen I, 3.
Abhänge eines Gebirges, f. **Berg** I, 771.
Abirrung des Lichtes, **Aberration** I, 3, dient zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Lichtes, f. **Art. Licht**, IV, 316.
Abirrung der Magnetnadel, f. **Ablenkung der Magnetnadel** I, 6.
Abklären I, 3.
Ablängen der Bilder oder Farben, f. **Sehen** V, 843 ff.
Abfühlen I, 6.
Abkühlung, f. **Wärme** VI, 678—687, wird zur Bestimmung der specifischen Wärme benutzt, f. **Wärme** VI, 688, 690.
Ablenkung des Lothes aus der vertikalen Richtung, f. **Anziehung** I, 242.
Ablenkung der Magnetnadel I, 6.
Ablenkung der Magnetnadel im Multipli-
cator, f. **Multiplicator** IV, 1123; im Verhältniß zur Stärke des elektrischen Stromes, ebenda 1132 ff., ferner **Strom, elektrischer** VI, 183.
Ablenkungsstab, f. **Magnetometer** IV, 848.
Abnahme des Meeres, f. **Meer** IV, 981 ff.
Abnehmen f. **Abgießen** I, 3.
Abplattung I, 13.
Abrauchen, f. **Abdampfen** I, 1.
Akroßungswinkel, f. **Eisenbahn** II, 633.
Absehen vor dem leeren Raume, f. **Atmosphäre** I, 464.
Absolut I, 17.
Absolute und relative Höhe eines Berges, f. **Berg** I, 763 f., **Höhe eines Punktes** III, 806 f.
Absolutes Gewicht, f. **Gewicht** III, 341 f.
Absorption I, 17. **Absorption der Gase durch Flüssigkeiten** 18, **Apparate und Methoden** hierbei 18—21. **Einfluß der Beschaffenheit und Reinheit der absorbirenden Flüssigkeit und des absorbirenden Gases** 21—31. **Einfluß des äußeren Luftdruckes und der Temperatur** 31—36. — **Absorption der Gase durch feste Körper** 36—46. **Verhalten der Kohle und anderer Körper gegen unvermischte reine Gase** 38. **Einfluß der Reinheit und Trockenheit der Kohle** 38. **Einfluß des äußeren Luftdruckes auf die Gasabsorption durch Kohle** 39. **Absorption anderer fester Körper für unvermischte Gase** 40. **Beziehung zwischen dem Absorptionsvermögen und dem specifischen Gewichte der Kohle und anderer poröser Körper** 41. **Gleichzeitige Absorption mehrerer Gase durch einen porösen Körper** 42—43. **Absorptionsfähigkeit des pyrophorischen Eisens** 43, **des Platinmoiré oder Platinschwarz unter Wärmeentwicklung** bis

zur Entzündung, wobei mitunter auch neue Verbindungen entstehen können 48. Vergl. auch Kohlenstoff IV, 295 — 302. — Absorption des Lichtes, s. Licht IV, 514, 525, Farbe III, 40 ff.; Absorption der Wärme VI, 616, 633 ff., 637, 641 u.

Absperrventil, s. Dampfmaschine II, 339.

Abstand vom Scheitel, s. Scheitel V, 714.

Absteigung, gerade und schiefe, s. Aufsteigung I, 569.

Abstoßung, s. Anziehung I, 241, Materie IV, 926, 928, 929, 933 — 944, magnetische, s. Magnetismus IV, 743 f.

Abstoßung, elektrische, s. Elektrizität IV, 746, diamagnetische IV, 784 ff.

Abstracten, s. Ton VI, 433.

Abstumpfung bei Krystallen, s. Krystall IV, 375.

Abtreiben I, 46.

Abweichung, astronomische I, 46.

Abweichung (magnetische) oder Declination der Magnetnadel I, 47. Seculare, jährliche, monatliche und tägliche Variationen der Abweichung 82 — 94; s. Magnetismus der Erde IV, 824; Periode der täglichen Variation IV, 825, Beziehung zu den Sonnenflecken IV, 825. Bestimmung der Abweichung, s. Magnetometer IV, 846, auch Declinatorium II, 460. — Unregelmäßige Schwankungen I, 94, beim Nordlicht I, 95, s. Nordlicht V, 81, 90 ff.

Abweichung geworfener Kugeln aus der Verticalebene der Bahn, s. Mechanik der Flüssigkeiten IV, 972 ff.

Abweichung, optische I, 99; wegen der Kugelgestalt (sphärische Abweichung), wegen der Brechbarkeit (chromatische Abweichung) I, 100, Fernrohr III, 108, 111, Linsenglas IV, 571 ff., 577.

Abweichungsfreis, s. Abweichung, astronomische I, 46, und Abweichung, optische I, 100.

Abziehen, s. Destillation II, 469.

Abzugsöffnung für den Rauch, s. Heizung III, 765.

Accommodationsvermögen des Auges, siehe Sehen V, 832 ff., Sinne V, 922.

Accord, s. Ton VI, 390.

Acetometer I, 101.

Acetische Säure, s. Verbrennung VI, 477.

Acetylorydhydrat, s. Verbrennung VI, 477, Essigsäure II, 933.

Acetylsäure, s. Essigsäure II, 931.

Adat I, 101.

Achromatische Linsen, s. Linsenglas IV, 571, 573.

Achromatisches Fernrohr, s. Fernrohr III, 108, 111.

Achromatisches Prisma, s. Linsenglas IV, 572.

Achromatismus, s. Linsenglas IV, 571 bis 577, Achromatismus der Fernröhre III, 108, 111, Achromatismus des Auges, s. Sinne V, 923 ff.

Achrupfe, s. Sinne V, 943.

Achse, s. Axe.

Acidimetrie I, 102.

Ackererde I, 102.

Aconitin, s. Basen, organische I, 747.

Actine, Actinometer, s. Aktinometer I, 128, vergl. Wärme VI, 720 ff.

Activer Sauerstoff, s. Sauerstoff V, 101.

Activer Wasserstoff VI, 823.

Adaptionsvermögen des Auges, s. Sehen V, 832 ff., Sinne V, 922.

Aderhaut, s. Sinne V, 914.

Adhäsion I, 110, Adhäsion fester Körper an einander 110 — 112, Adhäsion fester Körper an tropfbarflüssige und umgekehrt 112 — 113, Adhäsion tropfbarer Flüssigkeiten aneinander 113 — 116, Adhäsion ausdehnbarer Flüssigkeiten an feste und an tropfbare Körper 116.

Adhäsionsplatten, s. Adhäsion I, 110.

Adjustirung des Auges, s. Sinne V, 922, Sehen V, 832 ff.

Ähnlich polarisirte Lichtstrahlen, s. Farberinge III, 77 (in der Anmerk.).

Äolipile, s. Dampfzugel II, 236.

Äolsharfe I, 116.

Äquator des Himmels, astronomischer Äquator I, 118.

Äquator der Erde, geographischer Äquator I, 118, Erde II, 874.

Äquator, magnetischer, der Erde I, 119, vergl. Neigung der Magnetnadel V, 46.

Äquatoreal, Äquatorial I, 119.

Äquatoriale Stellung eines Körpers zwischen entgegengesetzten Magnetpolen, s. Magnetismus IV, 786.

Äquatorialzone, s. Klima IV, 275.

Äquinoczialkreis, Äquinocziallinie, siehe Äquator des Himmels I, 118.

Äquinoczialpunkte, Nachtgleichenpunkte V, 1.

Äquinoctien, s. Nachtgleichen V, 1.

Äquivalente, s. Atome I, 563 ff. und Verwandtschaft, chemische VI, 554, 557 f.

Äquivalente, elektrochemische, s. Galvanismus III, 344, Zersetzung, elektrochemische VI, 1058.

Äquivalent, endosmotisches, s. Osmose und Endosmose II, [980](#).
 Äquivalentzahlen (Äquivalentgewichte), s. Verwandtschaft, Chemische VI, [557](#) ff.
 Ärodynamik, s. Mechanik IV, [983](#).
 Äronautik, s. Luftschiffahrtkunde IV, [708](#).
 Ärostat, s. Luftball IV, [669](#).
 Ärostatik, s. Mechanik IV, [983](#).
 Ärostatische Lampen, s. Lampe IV, [409](#).
 Äther I, [121](#), vergl. Licht IV, [521](#), Wärme VI, [756–769](#), Materie IV, [940](#) ff., Naturwissenschaft V, [33](#), Kometen IV, [339](#) f.
 Äther, Schwefeläther I, [122](#).
 Ätherarten I, [123](#).
 Ätheringas, s. Kohlenstoff IV, [311](#).
 Ätherisches Del I, [124](#).
 Ätherwellen (Lichtwellen), s. Inflexion IV, [69](#), Länge derselben 66, Farbenringe Newtons III, [79](#).
 Äthiansäure, s. Säuren V, [673](#).
 Äthrioskop I, [125](#).
 Äthyl, Äthyloryd, s. Äther (Schwefeläther) I, [122](#), Weingeist VI, [870](#).
 Ägen I, [126](#), s. Stickstoff VI, [129](#), 131, Fluor III, [289](#); Ägen auf galvanischem Wege, s. Galvanoplastik III, [403](#), sog. trocknes Ägen (vermittelt der Elektrizität) III, [406](#).
 Ägen des Glases, s. Glas III, [290](#).
 Ägkali, Ägstein, s. Kalium IV, [200](#) f.
 Ägkalk, s. Calcium I, [919](#).
 Ägnatron, s. Natrium V, [8](#).
 Äffinität, s. Verwandtschaft, Chemische VI, [539](#).
 Ästerkrystalle, s. Krytall IV, [383](#).
 Ägens I, [126](#).
 Äggregat I, [126](#); vergl. Schmelzen V, [735](#), Sieden V, [861](#), Wärme VI, [700](#), [704](#), [736](#).
 Äggregatzustände, s. Äggregat.
 Äkronyktischer Auf- und Untergang, s. Auf- und Untergang der Gestirne I, [566](#), [568](#).
 Äktine, s. Äktinometer.
 Äktinometer I, [128](#); vergl. Wärme VI, [720](#) ff.
 Äkumeter I, [133](#).
 Äkustik I, [135](#); vergl. Schall V, [697](#).
 Älabaster, s. Calcium I, [923](#), Vergl. I, [785](#).
 Älaun I, [136](#).
 Älbinos (Rakelaken), s. Sehen V, [828](#), Sinne V, [938](#), Klima IV, [280](#).
 Älcaraza I, [136](#), vergl. Verdunstung und Verdampfung VI, [495](#), [496](#).
 Äldehyde, s. Weingeist VI, [871](#).

Ältini's Sicherheitspanzer, s. Flamme III, [241](#).
 Älgarothpulver, s. Antimon I, [239](#).
 Älhidabel I, [137](#).
 Älizarintinte, s. Tinte VI, [367](#) ff.
 Älkali I, [137](#).
 Älkali, flüchtiges, s. Ammoniak I, [145](#).
 Älkalimeter I, [137](#).
 Älkalische Erden, s. Metalle IV, [1027](#).
 Älkalische Luft, s. Ammoniak I, [145](#).
 Älkaloid, s. Älkali I, [137](#); vergl. Basen (organische) I, [747](#).
 Älkargen und Älkarsin, s. Ärsen I, [361](#).
 Älkohol, s. Weingeist VI.
 Älkoholometer, s. Ärdrometer I, [278](#), [304](#).
 Älkgemeine Eigenschaften, s. Eigenschaft II.
 Älkgemeine Präcession, s. Nachtgleichen V, [8](#).
 Älkgemeine Schwere, s. Schwere V, [797](#).
 Älkotropie, s. Isomerie IV, [144](#); Kohlenstoff IV, [289](#) f., Phosphor V, [216](#) f., Schwefel V, [758](#) f., Silicium V, [901](#).
 Älkuvialbildungen, s. Berg I, [797](#).
 Älkagest, s. Älkronomie I, [374](#), [376](#).
 Älkucantharat I, [138](#).
 Älkpengebirge, s. Berg I, [767](#).
 Älkphoninische Tafeln, s. Älkronomie I, [376](#).
 Älkter des Mondes, s. Epakte II, [834](#).
 Älkuminium I, [138](#), Metalle IV, [1030](#).
 Älkalgam I, [140](#). — Auftragung des Älkalgams bei Elektrifizierungsmaschinen, s. Elektrifizierungsmaschine II, [767](#).
 Älkalgamation I, [142](#); vergl. Silber V, [876](#).
 Älkalgamiren, s. Älkalgam I, [140](#).
 Älkblupie (Trüb-, Schwachichtigkeit), s. Sinne V, [938](#).
 Älkboß (Gehörnöchelchen), s. Sinne V, [949](#).
 Älkweinsäure, s. Säuren V, [673](#).
 Älkethyß, s. Polarisation des Lichtes V, [419](#), Silicium V, [898](#).
 Älkid, s. Stickstoff VI, [132](#).
 Älkyl, s. Weingeist VI, [870](#).
 Älkmoniak I, [145](#). Wässeriges Älkmoniak I, [147](#).
 Älkmonium I, [150](#).
 Älkmonium-Amalgam, s. Älkmonium I, [150](#).
 Älkmoniumpalladiumchlorür, s. Palladium V, [123](#).
 Älkmoniumplatinchlorid, s. Platin V, [390](#).
 Älkmoniumquecksilberchlorid, s. Quecksilber V, [546](#).
 Älkmon-Platammoniumorydhydrat, s. Platin V, [391](#).
 Älkorph I, [131](#).
 Älkphibsalze, s. Salze V, [677](#), [680](#).

- Amplitude, f. Inflection IV, [69](#).
 Ampulle, f. Sinne V, [930](#).
 Analogie, f. Naturwissenschaft V, [33](#).
 Analyse, chemische [I](#), [154](#). Vorarbeiten für die analytische Untersuchung einer Substanz [155—162](#). Qualitative Untersuchung [162—168](#). Beispiele von quantitativen Analysen [168—171](#). Die organische Elementaranalyse [171—173](#). — Vergl. auch Massanalyse IV, [912](#).
 Anamorphose [I](#), [173](#), vergl. Cylinderspiegel [I](#), [1017](#), und Kugelspiegel IV, [222](#).
 Analyseur, f. Polarisation des Lichtes V, [399](#).
 Anatomischer Heber, f. Heber III, [710](#) ff.
 Anemobarometer, f. Anemoskop [I](#), [182](#).
 Anemochord [I](#), [176](#).
 Anemograph, f. Anemoskop [I](#), [177](#).
 Anemometer, f. Anemoskop [I](#), [177](#).
 Anemometrograph, f. Anemoskop [I](#), [177](#).
 Angriffspunkt einer Kraft, f. Druck II, [357](#), Mechanik IV, [932](#).
 Anhängung, f. Adhäsion [I](#), [110](#).
 Anhöhe, f. Berg [I](#), [763](#).
 Anhydrit, f. Calcium [I](#), [922](#), Berg [I](#), [785](#).
 Anion, f. Galvanismus III, [334](#) ff.
 Anisometrisches System, f. Kry stall IV, [362](#).
 Anisotrope Mittel, f. Polarisation des Lichtes V, [434](#).
 Anker des Magnets, f. Magnetismus IV, [748](#) ff.
 Ankerhemmung, f. Chronometer [I](#), [973](#).
 Anlassen [I](#), [230](#), Eisen II, [627](#).
 Anlaufen [I](#), [230](#).
 Anlage-Goniometer, f. Goniometer III, [631](#).
 Anode, f. Galvanismus III, [334](#).
 Anomalie [I](#), [230](#), Planeten V, [337](#), [339](#).
 Anomalistischer Monat, f. Monat IV, [1103](#).
 Anomalistisches Jahr, f. Jahr IV, [2](#).
 Anorthisches System, f. Kry stall IV, [363](#).
 Anorthoskop [I](#), [231](#).
 Ausgabröhre, f. Ausfluß des Wassers und der Luft [I](#), [632](#), [639](#).
 Antarktischer Ocean, f. Meer IV, [980](#).
 Anthotypie [I](#), [232](#).
 Anthracit, f. Kohlenstoff IV, [290](#), Berg [I](#), [785](#) ff., Heizung III, [729](#), Leiter der Elektricität IV, [440](#).
 Anthrakometer [I](#), [233](#).
 Anti-Jupiter, f. Gewitter III, [398](#).
 Antimon [I](#), [233](#).
 Antimonblüthe, f. Antimon.
 Antimonchlorid, f. Antimon [I](#), [239](#).
 Antimonige Säure, f. Antimon [I](#), [234](#), [236](#).
 Antimonkalium, f. Antimon [I](#), [240](#).
 Antimonoryd, f. Antimon [I](#), [234](#).
 Antimonphosphor, f. Licht IV, [491](#).
 Antimonensäure, f. Antimon [I](#), [236](#).
 Antimonsaure Salze, f. Antimon [I](#), [237](#).
 Antimonsuperchlorid, f. Antimon [I](#), [239](#).
 Antimonwasserstoffgas, f. Antimon [I](#), [237](#).
 Antiphlogistische Theorie, f. Chemie [I](#), [930](#).
 Verbrennung VI, [473](#), Wärme VI, [741](#).
 Antiphosphor = Streichhölzchen, f. Phosphor V, [219](#).
 Antipoden, f. Himmelskugel III, [806](#).
 Antiseptische Mittel, f. Fäulniß III, [4](#), Kohlenstoff IV, [298](#) f.
 Antrieb einer Kraft, f. Druck II, [357](#).
 Anwendungen des leichteren Durchganges und der leichteren Zurückwerfung, f. Farbenringe (Newton's) III, [71](#) ff.
 Anwendungen (leichterer Transmission oder Reflexion) der Lichtstrahlen, f. Farbenringe Newton's III, [72](#).
 Anziehung [I](#), [241](#), Verwandtschaft, chemische VI, [539](#), Materie IV, [926](#), [928](#), [929](#), [933](#) ff., [936](#), [938](#), [942](#) ff., [946](#), [947](#) ff., Wärme [734](#) ff., Cohäsion [I](#), [977](#), Adhäsion [I](#), [110](#), Schwere V, [792](#), [796](#) ff., [799](#) ff. — Anziehung, elektrische, f. Elektricität II, magnetische, f. Magnetismus IV, [745](#) ff., [762](#) ff.
 Angünden, f. Feuer III, [144](#).
 Apatit [I](#), [243](#).
 Apertur, f. Blendung [I](#), [857](#), Fernrohr III, [118](#).
 Aphelium, f. Planeten V, [336](#).
 Aplanatische Gläser, f. Fernrohr III, [113](#), Linsenglas IV, [577](#).
 Apogäum, f. Erdferne II, [930](#), Planeten V, [336](#).
 Apparat [I](#), [244](#), Fernrohr III, [114](#) (Note).
 Apfiden, f. Anomalie [I](#), [230](#) ff., Mond IV, [1111](#), Planeten V, [336](#).
 Apfidenlinie [I](#), [231](#), Mond IV, [1111](#).
 Aräometer [I](#), [278](#). Gewichts-Aräometer, von Fahrenheit [280](#), von G. G. Schmidt [281](#), von Tralles [281](#) ff., von Nicholson [282](#), verbessertes Nicholson'sches von Charles [283](#), von Guyton de Morveau [283](#), von Biot (Scalenaräometer) [283](#), von Mohs [283](#), von DuRoi [283](#), von Baumgartner [286](#), Scalenaräometer [288](#), von Gay-Lussac [290—297](#), von Beaumé [297](#), von Cartier [298](#), Schieber-Aräometer von Adie [303](#), Procent-Aräometer [303](#), Alkoholometer [304—354](#), Laugenwaage,

Salzspindeln, Sool- oder Gradirwagen, Salpeterspindeln und Pottaschenwagen. Saccharometer, Schwefelsäure-, Salzsäure- und Ammoniakmesser [354](#). Galaktometer [355](#). Weinwagen [355](#), Bierwagen [356](#), Oleometer [356](#), Pulveraräometer [356](#), Aräometrische Glasperlen [357](#). — Vergl. Gewicht III, [351](#) ff.

Aräometrie, s. Aräometer.

Arbeit der Kraft und Last, s. Maschine IV, [883](#) ff.

Arbeitskraft, s. Mechanische Arbeit IV, [975](#), [979](#).

Archimedisches Prinzip, s. Statik VI, [93](#), Gewicht III, [348](#).

Are, französisches Flächenmaß, s. Maß IV, [902](#).

Argand'sche Lampe, s. Lampe IV, [407](#).

Argentan (Neusilber, Backfong), s. Nickel V, [70](#), Wolfram VI, [1013](#).

Argument der Breite, s. Planeten V, [334](#).

Aricin, s. Basen, organische I, [747](#).

Arktisches Polarmeer (arktischer Ocean), s. Meer IV, [979](#).

Arktische Zone, s. Klima IV, [278](#).

Armatur I, [357](#).

Armaturen des Magnets, s. Magnetismus IV, [748](#) ff.

Armenischer Stein, s. Ultramarin VI, [449](#).

Armillarsphäre, s. Ringfugel V, [639](#).

Armierungen des Magnets, s. Magnetismus IV, [748](#) ff.

Aromatische Räucherungen, s. Desinficirung II, [466](#).

Arragonit I, [337](#).

Arsenige Säure, s. Arsenik I, [338](#).

Arsenigsaures Kali, s. Arsenik I, [339](#).

Arsenigsaures Kobaltorydul, s. Kobalt IV, [284](#).

Arsenigsaures und arsenisaures Kupferoryd, s. Kupfer IV, [396](#) f.

Arsenik I, [338](#).

Arsenikblüthe, s. Arsenik I, [339](#).

Arsenikblumen, s. Arsenik I, [339](#).

Arsenikglas, s. Arsenik I, [339](#).

Arsenik Eisen, s. Eisen II, [621](#).

Arsenikkies, s. Arsenik I, [338](#), Eisen II, [621](#).

Arseniknickel, s. Nickel V, [66](#).

Arsenikphosphor, s. Licht IV, [491](#).

Arsenikrubin, s. Arsenik I, [360](#).

Arseniksäure, s. Arsenik I, [339](#).

Arseniksäurehydrat, s. Arsenik I, [360](#).

Arseniksaures Kobaltorydul, s. Kobalt IV, [284](#).

Arseniksaures Nickelorydul, s. Nickel V, [66](#).

Arseniksaure Salze, s. Arsenik I, [360](#).

Arseniksupersulfid, s. Arsenik I, [361](#).

Arsenikwasserstoff, s. Arsenik I, [360](#).

Artifische Brunnen, s. Quellen V, [352](#).

Asbest I, [363](#).

Ascension, s. Aufsteigung I, [369](#).

Asche, vulkanische, s. Vulkan VI, [610](#).

Aschenregen s. Regen V, [611](#).

Aschenfall, s. Heizung III, [740](#).

Aschengehalt der Hölzer, s. Heizung III, [732](#).

Aschenzieher, s. Thermoelektricität VI, [278](#).

Aschgraues Licht des Mondes, s. Mond IV, [1108](#).

Asow'sches Meer, s. Meer IV, [988](#).

Aspecten I, [363](#).

Asphalt I, [363](#), vergl. Quelle V, [363](#).

Aspirator I, [363](#).

Astatische Nadel I, [368](#), vergl. Multiplikator IV, [1126](#) ff.

Asterismen, s. Sterne VI, [112](#).

Astrallampe, s. Lampe IV, [408](#).

Astrognoſie, s. Astronomie I, [377](#).

Astrologie I, [373](#).

Astronomie I, [374](#).

Astronomische Abweichung, s. Abweichung, astronomische I, [46](#).

Astronomische und physikalische Bildersprache I, [379](#).

Astronomische Dämmerung, s. Dämmerung, II, [13](#).

Astronomisches Fernrohr, s. Fernrohr III, [103](#).

Astronomischer Tag, s. Tag VI, [209](#).

Athmen I, [427](#).

Atlantischer Ocean, s. Meer IV, [979](#).

Atmometer I, [430](#).

Atmosphäre I, [432](#). Atmosphäre der Erde, ihre Bestandtheile [433](#)—[464](#) (vergl. auch Ozon V, [101](#)). Schwere der Atmosphäre [464](#). Wirkungen des Luftdruckes [465](#)—[469](#). Gewicht der atmosphärischen Luft [469](#)—[472](#). Magdeburgische Halbkugeln [473](#). Elasticität oder Spannkraft der Luft [474](#). Widerstand der Luft [475](#) ff., Luftverdünnung [477](#), verdichtete Luft [478](#). Höhe der Atmosphäre [479](#)—[488](#). Luft in den Gewässern (des Oceans) [488](#) bis [490](#). — Abplattung der Atmosphäre [490](#) ff. — Messung des Luftdruckes [491](#). Veränderungen des Luftdruckes (Barometerschwankungen) [492](#). — Tägliche periodische Schwankungen [497](#). Größe der täglichen Schwankung [502](#). Mittlere tägliche Oscillation [503](#); Einfluß der Erhebung des Beobachtungsortes über dem Meerespiegel [504](#) ff. Mittlere tägliche Oscillationen in verschiedenen Gegenden [506](#). Einfluß der Dampfatmosphäre [509](#) bis [513](#). Mittlerer Barometerstand eines Tages [515](#). Mittlerer Luftdruck in den

verschiedenen Jahreszeiten 316—318. Unregelmäßige Veränderungen des Luftdruckes 319. Mittlere monatliche Barometer-Oscillation 319. Einfluß der Jahreszeiten und geographischen Lage 319 ff. Solarometrische Linien 322. Mittlerer Barometerstand am Meere 324—329. Gewisse Veränderungen im Wasserstande stehen im Zusammenhange mit den Veränderungen des Luftdruckes 329 ff., vergl. auch Sren V, 826. — Einfluß des Mondes auf den atmosphärischen Luftdruck 330—337. — Wassergehalt der Atmosphäre 337, abhängig von der Temperatur und dem Luftdruck 339. Elastizität der Wasserdämpfe 341 ff. Gewicht des Wasserdampfes 344. Dichte des Wasserdampfes 347. Thaupunkt 348. Absolute und relative Dampfmenge 349 (vergl. Hygrometer III, 888 ff., 893 ff., 902 ff.). Gang der atmosphärischen Feuchtigkeit 349—360. — Atmosphäre der Sonne 360 (vgl. Sonne VI, 12, 17 ff.); Atmosphäre des Mondes 361, der Planeten und Kometen 363, vergl. Planeten V, 330—338, Kometen IV, 328 ff.

Atmosphärendruck, s. Atmosphäre I, 471, Dampf II, 88 ff.

Atmosphärische Eisenbahn, s. Eisenbahn II, 669 ff.

Atmosphärische Luft, s. Atmosphäre I, 452, Gas III, 410.

Atmosphärologie, s. Atmosphäre I, 360, und Meteorologie IV, 1031.

Atome I, 363; Verwandtschaft, chemische VI, 378 ff., vergl. Materie IV, 926, 929 939 ff., 942 ff. Wärme VI, 734 ff.

Atomgewicht, s. Verwandtschaft, chemische VI, 334 ff., 337 ff., 339 ff.

Atomistik, s. Atome.

Atomvolum, s. Volumtheorie VI, 384, 387 ff.

Atropin, s. Vasen, organische I, 747.

Attraction, s. Anziehung.

Altword'sche Fallmaschine, s. Fallmaschine III, 17.

Aufgang und Untergang der Gestirne I, 366. Poetischer Auf- und Untergang 366, kosmischer Auf- und Untergang 367; heliakischer Auf- und Untergang 367, akronyktischer Auf- und Untergang 368.

Aufgewachsene Krystalle, s. Krystall IV, 381.

Auflösung I, 368; vergl. Lösung IV, 347; und Absorption I, 21.

Aufschnitt einer tönenden Röhre (Pfeife) s. Ton VI, 410.

Aufsättigungsregel, s. Vulkan VI, 604.

Aufsteigender Knoten, s. Knoten IV, 283 ff.

Aufsteigen des Nebels s. Nebel V, 39.

Aufsteigung, gerade (eines Gestirnes) I, 369.

Auftrieb, s. Statik VI, 94.

Augapfel, s. Sinne V, 913.

Auge des Menschen, s. Sinne V, 913, Sie desselben 913, Muskeln 913, Augenlider 913, Thränenpunkte, Thränenwärtchen, Thränenbräse 914. Weiße Faserhaut 914, durchsichtige Hornhaut 914, Ader- oder Gefäßhaut 914, Strahlenfranz 914, Regenbogenhaut 914, Pupille 914, pigmentum nigrum 914, Nerven- oder Netzhaut 915, Stäbchen und Zäpfchen 915, gelber Fleck 915. Krystalllinse 916, wässrige Feuchtigkeit 917, Glaskörper oder gläserne Feuchtigkeit 917. Durchschnitt des Auges 917, Dimensionen desselben 918. Bild auf der Netzhaut 920. — Leuchten des Auges bei verschiedenen Thieren, s. Licht IV, 513.

Augenare, s. Sinne V, 921.

Augenbrauen, s. Sinne V, 913.

Augensammern, s. Sinne V, 916.

Augenlider, s. Sinne V, 913.

Augenwimpern, s. Sinne V, 913.

Augit I, 370.

Augitlaven, s. Vulkan VI, 612.

Auripigment, s. Arsenik I, 358.

Ausathmen, s. Athmen I, 428.

Ausbrüche, vulkanische, s. Vulkan VI, 604.

Ausdehnnsame Flüssigkeiten, s. Flüssigkeiten III, 284; vergl. Aggregat I, 127, Gas III, 410; Expansibilität II, 930, Expansion II, 930.

Ausdehnbarkeit, s. Expansibilität II, 930.

Ausdehnung I, 372. Ausdehnung der Körper durch die Wärme 373. Ausdehnung fester (harter) Körper 373; lineare und cubische Ausdehnung 373, Coefficient der linearen Ausdehnung und Coefficient der cubischen Ausdehnung 373. Ausdehnung fester Körper zwischen 0° und 100° 376. Ausdehnung der Krystalle 383. Ausdehnung des Glases 379 f. Ausdehnung tropfbarflüssiger Körper 384. Ausdehnung des Wassers, 389 f. Formeln für die Ausdehnung tropfbarer Körper 611. Coefficient der mittleren und wahren Ausdehnung tropfb. Flüssigkeiten 614. Ausdehnung expansibler (gasförmiger) Flüssigkeiten 615. Ausdehnung der trocknen atmosphärischen Luft 620 ff.; — s. auch Gas III, 422.

Ausfluß des Wassers und der Luft I, 623. Ausfluß des Wassers 623, Contraction oder Zusammenziehung des ausfließenden Strahles 626. Ausflußcoefficient 627. Unvollständige oder partielle Con-

- traction 630. Kurze Anlagröhren 632; collindrische Anlagröhren 632, tonische 633. Gebrochene und gekrümmte Röhren 634. Springender Wassertrahl 634, (vergl. Springbrunnen VI, 65). — Vergl. Röhrenleitungen V, 640. — Ausfluß der Luft I, 638. Ausfluß durch lange Röhren 639, vergl. Röhrenleitungen V, 642. Ausgehendes (oder Ausfließen) der Gänge, f. Geologie III, 513.
- Aushauchung, f. Athmen I, 446.
- Ausladestrometer, f. Auslader I, 641. — Elektrometer II, 835.
- Auslader I, 641. Stanley'scher oder allgemeiner Auslader 642, Lenz's Auslader oder Ausladestrometer 642 ff.
- Ausladestrometer, f. Ausladerestrometer.
- Auslaugen I, 643.
- Ausprellen I, 643.
- Ausschlag, Aus Schlagwinkel, f. Pendel V, 161.
- Aus Schlagwinkel an der Wage, f. Wage VI, 771.
- Ausicht über der Gebirgsfläche in verschiedenen Höhen, f. Horizont III, 880 ff.
- Austrahlung der Wärme, f. Wärme VI, 646 ff.
- Ausfließen, f. Auslaugen I, 643.
- Austrasschein, f. Nordlicht V, 81.
- Austritt und Eintritt eines Geistes I, 643.
- Austrocknen, f. Trocknen VI, 444.
- Ausweichstellen, f. Eisenbahn II, 648.
- Ausweichung (Glongation), f. Pendel V, 161, Planeten V, 332.
- Auswintern I, 644.
- Auswurf-Krater, f. Vulkan VI, 602.
- Automat I, 644. Geschichte von Automaten aus dem Alterthum 644, aus dem Mittelalter 645. — Automaten von Vancanen 646, 650, von Drex 646, von Maffard 647, 648, von Kempelen 647.
- Auxometer oder Auxometer I, 651.
- Aventuringlas, f. Glas, III, 612.
- Axe I, 652. Arendrehung 652. Freie Axe 653 (Wohnenberger's Apparat). Geographische Axe 653, Oscillationsaxe (Schwingungsaxe) 653. Axe einer Wage 653 (vergl. Wage IV, 775). Magnetische Axe 653. Magnetische Axe der Erde 653 (vergl. Magnetismus der Erde IV, 822). Magnetnadelaxe f. Magnetismus IV, 794. — Axe des Horizontes III, 882. — Axe eines Schiffes I, 653. Axe einer Säule 653. — Axe der Krystallen, f. Krystall IV, 361. Optische Axe f. Brechung des Lichtes I, 892, 895 ff. Polarisation des Lichtes V, 438 ff. Axe einer Linse, f. Linsenglas IV, 544 ff. Axe eines Fernrohrs, f. Fernrohr III, 400. Collimator I, 980. Axe sphärischer Spiegel, f. Spiegel III, 50. — Axe des Auges f. Sinne V, 924. Aren bei Locomotiven, f. Locomotive IV, 585, 599 f.
- Arendrehung, f. Are.
- Arendrehung der Erde, f. Erde II, 900 ff., Pendel V, 186.
- Arenhalter, f. Locomotive IV, 585.
- Arinit f. Thermo-electricität VI, 277.
- Azimuth I, 654.
- Azimuth der Polarisationsebene, f. Polarisation des Lichtes V, 432.
- Azimuthalcompaß, f. Declinatorium II, 102, f. Stiefhöff VI, 116.
- Backfohle, f. Heizung III, 735.
- Bad, (Wassers, Dels, Luft, Sandbad) f. Trocknen VI, 442 ff.
- Bad, elektrisches, f. Elektrifizirungsmaschine II, 779.
- Bäche, f. Ströme VI, 453.
- Bänke bei Glasfen, f. Glas III, 608.
- Bänke (bei der Wellenbewegung), f. Interferenz IV, 106, Wellenbewegung VI, 894 ff.
- Bahn der Erde, f. Erde II, 906, Bahn der Planeten, f. Planeten V, 337, des Mondes, f. Mond IV, 1109, Bahn der Cometen, f. Cometen IV, 334 ff., Bahn geworfener Körper, f. Wurfbewegung VI, 1029, und Bewegung I, 820 ff., Bahn des Wlges, f. Gewitter III, 563, 568.
- Bahnkrümmung bei Eisenbahnen, f. Eisenbahn II, 656, Locomotive IV, 628.
- Bai, f. Meer IV, 980.
- Baisalit, f. Augit I, 572.
- Balancier, f. Dampfmaschine II, 367 f. Chronometer I, 972.
- Balancierventil, f. Pumpe V, 502.
- Balanciren, f. Statif IV, 84.
- Baldwin'scher Phosphor, f. Licht IV, 490.
- Baldrian'säure, f. Säuren V, 675.
- Ballgebläse, f. Gebläse III, 489.
- Balsame, f. Harze III, 695, 697.
- Baubachst, f. Asbat I, 101.
- Baul, f. Meer IV, 989.
- Barancoes, f. Vulkan VI, 603.
- Barilla, f. Natrium V, 10.
- Barometer I, 654. Wasserbarometer 654 ff., Quecksilberbarometer 655. — Torricelli'sche Leere 655. — Gefäßbarometer; Glashenbarometer, Birnbarometer, Kapillbarometer, Whiolenbarometer, Heberbarometer, Anjou's Apparat, welcher

nachweist, daß die Barometererscheinungen durch den Druck der Luft bewirkt werden, 636. Herstellung des Barometers; Reinigung des Quecksilbers 637—638. Wahl der Glasröhre 638; Calibrieren 639 ff. Füllen mit Quecksilber 660, Verfahren beim Auskochen 660—663. Verschwinden der Quecksilberkuppe durch Quecksilberoxyd 663. Anwendung der Luftpumpe zum Entfernen der Luft aus dem Quecksilber 664. Gefäß des Barometers 664. Scale des Barometers 665—668. Tabelle zur Reduction gegebener Scalenwerthe auf ein anderes Maß 668—671. — Hooke's Radbarometer 672. Zedler's Zifferblatt-Barometer 672. Einrichtung desselben zum Schiffsbarometer 673. Brunn's Barometer 673. Norland's Barometer 673. Bernouilli's Barometer 674. Vorschlag von Descartes 674. Huyghens' Doppelbarometer 675. *Reisebarometer*: Deluc's Heberbarometer 675, Vorrichtung von Nairne 676, Gay-Lussac's Heberbarometer 676, Bunsen's Barometer 677, Verbesserung desselben durch Greiner 677, Lefranc's Barometer 678, Angaben von Rosenthal (nach Schiavette) zum Verschluss der Heber- und Flaschenbarometer, Reisebarometer-von Gödefing 679, Englefield's Barometer. Verschluss der Gefäßbarometer nach einer Vorrichtung von Loos 681. Horner's Barometer 682. Beschreibung eines Barometers nach Sudov 684; Meyerstein's Construction eines Barometers 686, Fortin's Barometer 687, Verbesserung dieses Barometers durch Grunz 688, des Letzteren Gefäßbarometer mit veränderlichem Niveau 689. Barometer von Romershausen 690. Barometer aus der Werkstatt von Pistor und Schied 694. — Seebarometer von Blondeau 696, Seebarometer nach Nairne 696. — Güte eines Barometers 697. Unannehmlichkeit beim Gebrauche des Heberbarometers 698. Selbstregistrirende Barometer. Barometrograph von Changuet 698; Vorrichtung von Landriani 699; Maximum- und Minimum-Barometer von Geißler 700; selbstregistrirendes Barometer von G. A. Schulze 701. — Correctionen des Barometerstandes 701; wegen der Temperatur 701, Reduction des Barometerstandes auf 0°. 702; Tabelle zur Reduction des Barometerstandes auf 0° C. 703—706. Gebrauch dieser Tabelle 707. Schumacher's Reductionstafeln für die drei gebräuchlichsten Thermometer- und Barometerscalen 708 bis 727. Beispiele zu diesen Tafeln 728. Cor-

rection wegen der Capillardepression 728 bis 737 (auch Haarröhrchenwirkung III, 670). Tabellen bezüglich dieser Correction 737—741. Gebrauch des Barometers 742. Leuchten in der Torricelli'schen Leere 743. — Differentialbarometer II, 497. Dosen-Barometer II, 348.

Barometerprobe, s. Luftpumpe IV, 724, 727.

Barometerstand, s. Atmosphäre I, 463, 471, Barometer I, 633. Gas III, 412. Veränderungen des Barometerstandes an demselben Orte und an verschiedenen Orten, s. Atmosphäre I, 491—537. Mittlerer Stand des Barometers am Mercurspiegel, s. Atmosphäre I, 529. Abhängigkeit des Barometerstandes vom Monte, s. Atmosphäre I, 530—537. Tiefer Stand des Barometers bei Stürmen, s. Winde VI, 984 ff. Barometerstand bei verschiedenen Winden, s. Winde VI, 996. Barometrische Höhenmessung III, 807.

Barometrograph, s. Barometer I, 698.

Baroffoy, s. Barometer I, 634.

Barton's iristrende Knöpfe, s. Inflexion IV, 67.

Baryt, s. Baryum I, 744, Licht IV, 491.

Baryum I, 744. Baryumhyperoxyd 745, Barytsalze 744. Qualitative und quantitative Bestimmung des Baryts 746.

Basalt, s. Berg I, 784.

Basen (Salzbasen) I, 747. Säuren V, 670 f.

Basen, organische I, 747.

Bastische Salze, s. Basen I, 747 und Salze V, 680 f.

Bathometer I, 748. Bathometer von Hooke 748 (vergl. auch Meer IV, 983), von Desaguilliers und Hales 749, von Dersted 749, von Aimé 749.

Battelements (Schläge, Stöße), s. Interferenz IV, 104 ff.

Batterie, elektrische (Leydner), s. Flasche, elektrische III, 250.

Batterie, galvanische, s. Säule, galvanische V, 637.

Bauchredner I, 731. Kenntniß der Kunst des sog. Bauchredens bei den Alten. Verschiedene neuere Bauchredner 731—734. Erklärung 735.

Becherapparat, s. Säule, galvanische V, 633.

Becken (musik. Instr.) s. Ton VI, 428.

Bedeckung der Gestirne I, 733.

Bedeckung der Gestirne zu Längenbestimmungen benutzt, s. Meridian IV, 1020.

Beharrungsvermögen (Trägheit), s. Bewegung I, 809, Materie IV, 929.

Beharrungs- und Zustand bei Maschinen f. Maschi-
ne IV, 888.
Beharrungs- und Zustand eines Flusses, f. Bewe-
gung des Wassers I, 848.
Beinischwarz (Rohrstein), f. Kohlen-
stoff IV, 293.
Beleuchtungsapparat bei Mikroskopen, siehe
Mikroskop I, 1053, 1059, 1068,
1074.
Beleuchtungsvermögen (verschiedener Farben
miteinander zu vergleichen), f. Photo-
meter V, 311.
Benzidichwefelsäure, f. Säuren V, 675.
Benzol, f. Harze III, 702.
Benzoesäure, f. Elektrizität II, 755, Krys-
tall IV, 358.
Benzol (Benzin), f. Gasbeleuchtung III,
447, Lampe IV, 417.
Berechnung I, 756. Methode der klein-
sten Quadrate 757 ff.
Berg I, 763. Hügel, Anhöhen, Thäler.
Relative und absolute Höhe, allgemeiner
Wasserhorizont 763. Begriff des Gebirges
764. Vertheilung der Gebirge über die
Globe 764. — Wasserscheiden 765.
— Äußere Gebirgsbeschreibung 766—782;
Erläuterung der für einzelne Theile der Ge-
birge gebräuchlichen Benennungen 766.
Hochländer, Stufenländer, Hauwgebirgs-
ketten, Gebirgsabhängen, Klassification der
Gebirgszüge nach der Längenausdehnung
767. Vertikale Gliederung 769 ff. Rumi-
nische Uebersicht der Hoch-, Gebirgs-
und Tiefländer 770—771. Verhältnisse der
Breite der Gebirge zu ihrer Länge 772.
Streichen der Gebirge 772. Kamm eines
Gebirges 773. Gestalt der Gebirgsrücken
774. Bergspitze 776. Vertheilung der
Gipfel 776. Verhältnisse zwischen der
Kammhöhe, als der mittleren Höhe des
Gebirges, und dessen größter Erhebung
777—779. Thäler: Längenthäler und
Querthäler 779. Pässe 779—782. —
Innere Gebirgsbeschreibung 782. A. Be-
schreibung der Gebirgsarten: 1) Kry-
stallinisch-massige, plutonische Gesteine,
a) Quarz-Granit- und Gneise 782, b) Horn-
stein-Granit- und Gneise 783, c) Kalk-
stein-Granit- und Gneise 784. 2) Krystallinisch-
schieferige, metamorphische Gesteine 784;
3) Gneis, schieferige, neptunische Gesteine
784. B. Veränderungen, welche die Ge-
birgsarten durch äußere Einflüsse erleiden
786. C. Allgemeine Betrachtungen über
das Alter der Gebirgsarten 791—796.
Primäre Bildungen 796, secundäre Bil-
dungen 796; Tertiäre und Quaternäre Ge-
bilde 797. Gruppe der gegenwärtigen Bil-
dungen 797. D. Hebung des Gebirgs-

ketten. Hebungs- und Systeme der Berge 797
bis 803.
Berganlautender Cylinder und Kegels, f.
Eben II, 589.
Bergblau, Berggrün, f. Kupfer IV, 595.
Berg auf dem Mond, f. Mond IV, 1116 ff.
Berge, Feuerberge, f. Vulkan VI, 601.
Bergwerk, f. Kohle I, 363.
Bergquellen, f. Quellen V, 563 ff.
Bergkristall, f. Selenitum V, 894, Brechung
des Lichtes I, 885, Polarisation
des Lichtes V, 417 f. Thermoelek-
tricität VI, 277, 279.
Bergkristallmikroskop, f. Mikroskop IV,
1039.
Bergkristall, f. Harze III, 704 und Dachs-
ten V, 563.
Bergkristall, f. Absorption I, 40 f.
Berechnungs- und, f. Multiplikator, IV,
1129.
Berlinerblau, f. Eisen II, 620.
Bernstein I, 804. Berg. Harze III, 704.
Bernsteinsäure-Elektricität, f. Galvanis-
mus III, 304.
Berührungsebene bei Nebensonnen, f. Hof
III, 869 ff.
Berührungsebene, f. Magnetometer IV, 853.
Berthollet und Berthollet, f. Selenitum III,
626.
Beschreibung, f. Eisen II, 622.
Beschreibung, f. Bewegung I, 808, 814,
Fall der Körper III, 7, Schwere V,
792.
Beschreibung der Metalle vor Oxidation durch
Verührung mit fog. electropositivem Me-
talle, f. Galvanismus III, 336,
Kupfer IV, 392.
Beschreibung, chemische, f. Einfache Kör-
per II, 596, Verwandtschaft, chem. VI,
339, 344.
Bette eines Flusses, f. Bewegung des
Wassers in Canälen und Flüssen I, 847.
Bergmassefarben, f. Inflexion des Lichtes
IV, 87 ff., 67.
Bewegung, f. Inflexion IV, 85—85,
Wellenbewegung VI, 189 ff.
Bewaffnung, f. Armatur I, 357, Magnets-
ismus IV, 748 ff.
Bewegte Nerven, f. Sinne V, 908.
Bewegliche Polarisation, f. Polarisation
des Lichtes V, 411.
Bewegung I, 806. Scheinbare und wiss-
liche 806. Relative und absolute 806.
Geradlinig und krummlinig 807. Retros-
schreitende und vorwärtige 807. Gleichwin-
digkeit der Bewegung 807. Gleich-
mige und ungleichförmige Bewegung 808.
Gleichförmig beschleunigte oder verzögerte
und ungleichförmig beschleunigte oder ver-

- abgerie 808. Winkelgeschwindigkeit 808.
 Kraft 809. Gesetz der Trägheit oder des
 Beharrungsvermögens 808. Momentane
 Kraft 810. Continuirliche Kräfte, con-
 stante oder veränderliche 810. Absolute
 und relative Kräfte 810. Freie Bewegung
 und Bewegung auf vorgeschriebener Bahn
 811. — Bewegung materieller Punkte
 812. A. Gleichförmig bleibende Bewegung
 812. B. Gleichförmig veränderte Bewegung
 813. C. Ungleichförmig veränderte Be-
 wegung 813. D. Zusammengesetzte Be-
 wegung in einer geraden Linie 816. E. Zu-
 sammengesetzte Bewegung nach verschiede-
 nen Richtungen 816. Parallelogramm der
 Bewegungen (Geschwindigkeiten) 817.
 F. Gleichförmige Bewegung nach einer be-
 stimmten Richtung und gleichförmig be-
 beschleunigte Bewegung nach einer anderen
 Richtung 820. Wurfline (Trajectorie)
 820 (vergl. Wurfbewegung). — Bewegung
 ganzer Systeme von unter sich verbundenen
 materiellen Punkten 822. Maß der Kräfte
 822—823. Gleichförmige und ungleich-
 förmige Bewegung schwerer Körper 823.
 Gleichförmige Bewegung und Schwing-
 kraft (Centrifugalkraft) im Kreise 826.
 Centralbewegung und Centralkräfte im
 Allgemeinen 830. Fall der Körper auf
 vorgeschriebenen Wegen oder Bewegung der
 Körper auf geneigten geraden und krum-
 men Linien 834 (vergl. auch Art. Fall
 der Körper III, 7. Ebene, schiefe II,
 585 f.). Stoß der Körper 838. Gerader Stoß
 unelastischer Körper 838. Schiefer Stoß
 unelastischer Körper 839. Gerader Stoß
 elastischer Körper 840. Schiefer Stoß
 elastischer Körper 842. — Aufgabe 843. —
 Griechische Bewegung 843 — 846. — Mit
 diesem Art. ist zu vergleichen der Art.
 Mechanik IV, 932 und Zusammen-
 setzung und Zerlegung der Kräfte
 VI, 1118 ff.
 Bewegung der Polarisationsebene, f. Polari-
 sation des Lichtes V, 432.
 Bewegung des Wassers in Canälen
 und Flüssen I, 847. Gefälle 847.
 Stromstrich, Stromrinne 848. Mittlere Ge-
 schwindigkeit des Wassers innerhalb eines
 Querschnittes; mittlere Wassertiefe 848.
 Beharrungszustand eines Flusses 848. Ge-
 schwindigkeitscale 848. Gleichförmige Be-
 wegung des Wassers; Coefficient des
 Reibungswiderstandes 850. Angaben über
 die Gefälle und Geschwindigkeiten der
 Ströme, Flüsse und Bäche 851. —
 Vergl. auch Art. Ströme VI, 153, 155
 und Mechanik, der Flüssigkeiten IV,
 955.
 Bewegungsgröße (Größe der Bewegung), f.
 Bewegung I, 823.
 Bewegungsmoment, f. Statik VI, 81.
 Bicarbonate, f. Kohlenstoff IV, 310.
 Biconcave und biconvexe Gläser, f. Linsen-
 glas IV, 544.
 Biegung, Biegsamkeit, f. Festigkeit III,
 122, 127, Linie, elastische IV, 527.
 Biegemoment, f. Linie, elastische
 IV, 530.
 Bierprobe, Bierwage, f. Aräometer I,
 356.
 Biflar-Magnetometer, f. Magnetometer
 IV, 854 ff.
 Bild, f. Spiegel VI, 42, Linsenglas
 IV, 537, Mikroskop VI, 1042 ff., Fern-
 rohr III, 96, 100 ff., Camera lucida I,
 929, Camera obscura I, 933, Zau-
 berlaterne VI, 1050, Anamorphose I,
 175, Cylinderspiegel I, 1017, Re-
 gelspiegel IV, 222, Kaleidoskop
 IV, 185; Sehen V, 827 ff. Sinne V,
 920, Stereoskop VI, 104, Strobosko-
 pische Scheiben VI, 147, Photo-
 graphie V, 231.
 Bild, geometrisches (mathematisches), f. Lin-
 senglas IV, 538, 539, Spiegel VI, 53,
 Mikroskop IV, 1056.
 Bild, physisches, f. Linsenglas IV, 538,
 539, Spiegel VI, 53, Mikroskop IV,
 1056.
 Bildungen der Gesteine, f. Berg I, 796.
 Bimsstein, f. Berg I, 783.
 Binärtheorie der Salze, f. Salze V, 678 f.,
 683 f., Säuren V, 676.
 Bindehaut, f. Sinne V.
 Binnenmeere, deren Tiefe, f. Meer IV, 987.
 Binnenseen, f. Seen V, 822.
 Birnbarometer, f. Barometer I, 656.
 Birnprobe, f. Luftpumpe IV, 723.
 Bittererde, f. Magnium IV, 866.
 Bittersalz, f. Magnium IV, 867. — Sticks-
 stoff VI, 128.
 Bitterwasser, f. Quellen V, 563.
 Blätterdurchgang, f. Krystall IV, 378 ff.
 Blättererg, f. Gold III, 627.
 Blanquette, f. Natrium V, 10.
 Blasbälge, f. Ton VI, 432.
 Blasebalg, f. Gebläse III, 489.
 Blasen (Luftblasen), f. Luftblasen IV,
 683.
 Blasenräume, f. Vulkan VI, 612.
 Blasenventile, f. Luftpumpe IV, 720 ff.
 Blaserohr, f. Locomotive IV, 587.
 Blasinstrumente, f. Ton VI, 428, 430 ff.
 Blattgold, ächtes, f. Gold III, 629.
 Blattgold, unächtes, f. Kupfer IV, 401.
 Blattsilber, f. Zinn VI.

Blau (blaue Farbe) des Himmels f. Himmel III, 800 ff.
 Blaugluth, f. Schmelzen V, 743.
 Blausäure, f. Kohlenstoff IV, 317.
 Blei I, 831.
 Bleimalgam, f. Amalgam I, 140.
 Bleibaum, f. Retortbaum IV, 1022.
 Bleichlorid, f. Blei I, 835.
 Bleichpulver, f. Calcium I, 923 ff.
 Bleichwasser (Chlorwasser), f. Chlor I, 958.
 Bleiglas, f. Blei I, 833. Glas III, 610.
 Bleiglätte, f. Blei I, 833.
 Bleiloth, f. Wendel V, 160. Nivelliren V, 71.
 Bleiornd, f. Blei I, 833. Bleiorndsalz 854.
 Bleihydroxyd, f. Blei I, 834.
 Bleiorndhydrat, f. Blei I, 833 ff.
 Bleistein, f. Blei I, 832.
 Bleisuperoxyd, f. Blei I, 833.
 Bleimeiß, f. Blei I, 833.
 Blendes, f. Schwefel V, 737.
 Blendung I, 857, Fernrohe III, 100. Sinne V, 914.
 Blindwerden des Glases, f. Glas III, 612.
 Bisp, f. Gewitter III, 563—578.
 Bligableiter, f. Gewitter III, 578—596.
 Auffangkugeln oder Bligfänger 580 bis 583. Die Leitung des Bligableiters 583 bis 587; bei Strohe- und Schilfstächern 585. Leitung aus Draht 586, aus Eisenschnäben oder Eisenschienen 587. Das Ende der Leitung 587. Rücksicht auf die Beschaffenheit der Gebäude 588. Kirchen, Pulvermagazine, Pulverthürme 588. Windmühlen 589. Schiffe 590—592. Schutz der elektrischen Telegraphen mit oberirdischer Leitung gegen den Bisp 592—593. — Anti-Jupiter 593. (Bligableiter aus Strohe 593). — Prüfung der Bligableiter 596.
 Bligfänger, f. Gewitter III, 580.
 Bliggrad I, 857.
 Bliggrößen I, 860.
 Bliggründer, f. Bliggrößen I, 860.
 Bligkinn, f. Zinn VI, 1094.
 Blutfohle, f. Kohlenstoff IV, 293.
 Blutlaugensalz, f. Eisen II, 620, Kalium IV, 209.
 Blutregen, f. Regen V, 611.
 Blutstein, f. Eisen II, 618.
 Bodentemperatur, f. Erde II, 914 ff.
 Bohner, f. Eisen II, 622.
 Bohrbrunnen, f. Quellen V, 348, 532.
 Bologneser Gläsern, f. Glas III, 609.
 Bologneser Leuchtstein, f. Licht IV, 489.
 Bologneser Leuchtstein, f. Licht IV, 489.
 Boule, f. Refraktorium II, 461.
 Bora, f. Binde VI, 987.

Bor I, 864.
 Boracid, f. Thermoelectricität VI, 279.
 Borax, f. Bor I, 865.
 Bore, f. Ebbe und Fluth II, 583.
 Borsäure Magnesia, f. Magnesium IV, 868.
 Borsäures Natrium, f. Borax.
 Brachyochronische Linie, f. Fall der Kometen III, 16 ff.
 Brandung, f. Meer IV, 1010.
 Brandschiefer, f. Berg I, 785.
 Brantwein, f. Weingeist VI, 839.
 Brantweinwaage, f. Aräometer I, 278.
 Braunerstein, f. Eisen II, 621 f.
 Braunkohle, f. Berg I, 785, Feigung III, 729, 736.
 Braunklein, f. Mangan IV, 872.
 Breccien, f. Berg I, 785.
 Brechbarkeit des Lichtes I, 866. Zerlegung des weißen Lichtes in farbige Strahlen; Versuche mit dem Prisma 866—869. Fraunhofer'sche Linien 869 (vergl. Farbe, III, 23, 24 ff.). Tabelle von Rudberg über die Brechungsverhältnisse der verschiedenen Farbestrahlen in mehreren doppelt brechenden Krystallen 870. Tabelle über Brechungsverhältnisse für verschiedene Substanzen 870—872.
 Brecher, f. Meer IV, 1010.
 Brechung des Lichtes, einfache I, 872. Einfallloth, Einfallswinkel, Brechungswinkel, Einfallsebene 873. Brechungsgeß 874. Erklärung dieses Gesetzes nach der Undulations-theorie des Lichtes, f. Licht IV, 524. Größe der Brechung bei Flüssigkeiten 873, 881. Abhängigkeit der Größe der Brechung von der Größe des brechenden Winkels 876. Brechungsvermögen der Gasarten 878. Gang des gebrochenen Strahles 883. Tabelle der Brechungs-exponenten, für feste und tropfbar flüssige Körper 884—889, für Gase bei 0° C. Temperatur und 0^m, 76 Luftdruck 890 bis 890. Aufzählung verschiedener Erscheinungen, die auf der Brechung des Lichtes beruhen 890—892. — Doppelte Brechung des Lichtes 892. Gewöhnlich und ungewöhnlich gebrochener Strahl 892. Joländischer Doppelkalk, Kalkspath 892. Erscheinungen an demselben 893—896. Optisch einaxige Krystalle 896. Negative und positive Krystalle 896—897. Optisch zweiachsig Krystalle 897. Elasticitätsarten 898. Scheinbare optische Arten 898. Optische Arten für verschiedenfarbige Strahlen 899. Veränderung in der Lage der optischen Arten durch Temperatur 901. Tabelle der wichtigeren Krystalle mit zwei optischen Arten 901—902. — Doppelte

Brechung in stark erhitztem und gekühltem Glase 902. Doppelte Brechung im Glase durch starken Druck 902 ff. — Vergl. in Rücksicht des Art. Brechung auch den Art. Linsenglas IV, 544 ff., und ferner Polarisation des Lichtes V, 393 ff.

Brechung, conische I, 903.

Brechung des Schalles, f. Wellenbewegung III, 925.

Brechung der Wärmestrahlen, f. Wärme VI, 634 ff.

Brechungscoefficient (Brechungsverhältniß), f. Brechung des Lichtes I, 873, 884, Linsenglas IV, 563 ff.

Brechungsgesetz, f. Brechung des Lichtes I, 874, Licht IV, 524.

Brechungsverhältnisse verschiedener Farbestrahlen, f. Brechbarkeit des Lichtes I, 869.

Brechungswinkel, f. Brechung des Lichtes I, 873.

Brechweinstein, f. Antimon I, 236.

Breite (astronomische) und Länge eines Gestirnes I, 904.

Breite und Länge, geographische II, 905.

Breitengrade, f. Erde II, 874 ff.

Breitenkreis, f. Breite I, 904.

Breitenkreise, f. Parallelkreise V, 139, Erde II, 874, Meridian IV, 1014.

Brems-Dynamometer, f. Kraftmesser IV, 318.

Brennbare Körper, deren Brechungsvermögen I, 874; f. Verbrennung VI, 472.

Brennbare Luft, f. Wasserstoff VI, 816.

Brennglas I, 906.

Brennfuneln, f. Brennglas I, 908.

Brennlinie I, 909, Abweichung, optische I, 99, Linsenglas IV, 548.

Brennlinse, f. Brennglas.

Brennmaterialien, f. Heizung III, 725.

Brennpunkt I, 909; Linsenglas IV, 546 ff., Spiegel VI, 50 ff.

Brennraum, f. Brennpunkt I, 910.

Brennspiegel I, 910.

Brennstahl, f. Eisen II, 626.

Brennweite I, 911, Linsenglas IV, 551 ff., 566 ff., Spiegel VI, 51 ff.

Brillen I, 912, Gröndung, Material 912. Farbe des Glases 913. Form der Gläser 913. Periskopische Brillen 913. Brillen mit cylinderförmigen Oberflächen 913. Sogenannte Conservations- oder Präservativbrillen 914. Wahl der Brillen 914 bis 916.

Brille, f. Brille VI, 967.

Brechungsvermögen, f. Luftspiegelungen IV, 743.

Brom I, 916.

Bromarsenit, f. Arsenit I, 361.

Bromcalcium, f. Calcium I, 922.

Bromwasserstoff, f. Brom I, 917.

Bronze, f. Kupfer IV, 401 f.

Bronzit, f. Augit I, 572.

Brucin, f. Basen, organische I, 747.

Brüche, f. Sümpfe VI, 204.

Brückenwaage, f. Waage VI, 787.

Drummkreis, f. Ton VI, 412 ff.

Brunnen, f. Quellen V, 547.

Bucht, f. Meer IV, 980.

Bullerborn, f. Quellen V, 568 f.

Bürgerliche Monate, f. Monat IV, 1104.

Bürgerlicher Tag, f. Tag VI, 209.

Buranen, f. Winde VI, 989.

Burgunder Harz, f. Harz III, 699.

Burienmännchen, chinesisches (chines. Puppe), f. Statuette VI, 84 (in der Anmerkung).

Buntkupfererz, f. Kupfer IV, 387.

Bushel (vergl. Hohlmaß), f. Maß IV, 902, A. Aeltere Hohlmaße.

Busen, f. Meer IV, 980.

Bussola, f. Declinatorium II.

Butterarten, f. Fette III, 139, 141.

Buttersäure, f. Säuren V, 675.

Butyl, f. Weingeist VI, 870.

Cement (Gement), f. Calcium I, 921.

Cementquellen, f. Quellen V, 563.

Cadmium I, 918.

Cadmiumoxyd I, 918.

Cadmiumoxydsalze I, 918.

Calcinierte Soda, f. Natrium V, 12.

Calcium I, 919.

Calciumantimonisulfid, f. Antimon I, 239.

Calciumoxyd I, 919.

Caldera, f. Vulkan VI, 602 f.

Caliber I, 924. Calibriren, f. auch Barometer I, 639 ff., Thermometer VI, 302.

Calibriren, f. Caliber.

Calmen, Region der, f. Winde VI, 968.

Calomet, f. Quecksilber V, 542.

Calophyllum, f. Harz III, 702.

Calorimeter I, 926. Calorimeter von Lavoisier und Laplace 926, Wasser, Calorimeter von Rumford 927; Benutzung derselben zur Bestimmung der Wärmecapazität der Gase 928.

Calorimeter Harze, f. Säule, galvanische V, 649.

Gambrißches System, f. Berg I, 796.

Camera clara, f. Camera obscura I, 935.

Camera lucida I, 929, von Wallaston 929. Gebrauch 930. Einrichtung von Lüdke 932. Camera lucida von Siemens 932.

Camera obscura l. 933. Tragbare 924.
Camera clara 933. Mängel der Camera
 obscura 936. — Einrichtung der camera
 obscura nach Chevalier 937. Camera clara
 dioptrica von Lenz 937.
Campane der Luftpumpe, f. Luftpumpe
 IV, 716.
Canalheizung, f. Heizung III, 769.
Canalwage (Canalwage), f. Nivellexen
 V, 72.
Canton'scher Phosphor, f. Licht IV, 494,
495.
Capacität für Wärme, f. Wärme VI, 687.
Capellen, f. Abtrichter l. 46.
Capillar-Attraction, f. Haarröhrchen-
 wirkung III, 655.
Capillar-Depression, f. Haarröhrchen-
 wirkung III, 655, 665, 670. Baro-
 meter l. 728 ff.
Capillarität, f. Haarröhrchenwir-
 kung III, 655.
Cayronsäure, f. Säuren V, 675.
Cayrol, f. Weingeist VI, 879.
Cayrol, f. Weingeist VI, 879.
Caput mortuum, f. Destillation II, 468,
 V, 775.
Carbonate, f. Kohlenstoff IV, 309.
Carcel'sche Lampe, f. Lampe IV, 412.
Cardinalpunkte, f. Horizont III, 883.
Carolei-Montgolfiere, f. Luftball IV, 677.
Carsteinische Teufeln (Läucher) f. Stettin
 VI, 98.
Carthäuser Pulver, f. Antimon l. 239.
Cascaden-Batterie, f. Gläser, elektrische
 III, 250.
Cascadenströme, f. Gläser, elektrische
 III, 258.
Cassius-Pulver, f. Gold III, 630.
Casson und Pollux, f. Luftelectricität
 IV, 703.
Cautischuk, f. Kautschuk IV, 210.
Cement, englischer, f. Calcium l. 921.
Cementkieser, f. Kupfer IV, 389.
Cementquellen, f. Quelle V, 563.
Cementstahl, f. Eisen III, 626.
Cementstein, f. Calcium l. 921.
Centesimalthermometer, f. Thermometer l.
327.
Centesimalscale, f. Thermometer VI,
297.
Centigramm, f. Maß IV, 902.
Centimeter, f. Maß IV, 902.
Centner, f. Maß IV, 900, 902 f., 906.
Centralbewegung, f. Bewegung l. 830 bis
834. Zusammensetzung und Zerle-
 gung der Kräfte VI, 1126 ff., 1133 f.
Central-ringförmige Sonnenflecknisse, f.
 Mond IV, 1115.
Centraler Stoß, f. Bewegung l. 838.

Centralfeuer, f. Erde l. 927. **Central** VI,
614.
Centralkräfte, f. Bewegung l. 830.
Centrifugalkraft, f. Bewegung l. 826,
 Zusammensetzung und Zerlegung
 der Kräfte VI, 1119 ff.
Centrifugalmaschine, f. Schwungradma-
 schine V, 819.
Centrifugalverder (Regelverder), f. Verder
 V, 161, 175 ff.
Centrifugalpumpe, f. Pumpe V, 510.
Centrifugalregulator, f. Verder V, 184.
Centripetalkraft, f. Bewegung l. 830.
Centrirte Linse, f. Linsenglas IV, 563,
 Fernrohr III, 100, 118.
Centrum, optisches (Mittelpunkt, optisches),
 f. Linsenglas IV, 563, Spiegel VI, 50.
Centrum, phonisches, f. Echo II, 592.
Centrum, phonosamptisches, f. Echo II, 592.
Ceres, f. Planeten V, 344 ff.
Cerium l. 939.
Ceriumoxyd, f. Cerium l. 940.
Ceriumoxydul, f. Cerium l. 939.
Ceretyl, f. Weingeist VI, 870.
Cetyl, f. Weingeist VI, 870.
Cetyloryd, f. Steite III, 139, Weingeist
 VI, 870.
Chalcidischer Strudel, f. Meer IV, 1009.
Chamäleon, mineralisches, f. Mangan IV,
877.
Chamkin, f. Binde VI, 988.
Charlière, f. Luftball IV, 672.
Chorybeis, f. Meer IV, 1007.
Chemie l. 941. Reine und praktische;
 synthetische und analytische 941. Techni-
 sche 944. Geschichte 944—953. Litera-
 tur 953—987. — Vergl. Verwandts-
 chaft, chemische VI, 539, 548 ff.
Chemische Anziehung (Affinität), f. Ver-
 wandtschaft, chemische VI, 539.
Chemische Äquivalente, f. Verwandts-
 chaft, chemische VI, 537 ff.
Chemische Harmonie, f. Harmonie,
 chemische III, 689, Ton VI, 420.
Chemische Masse, f. Verwandtschaft,
 chemische VI, 578.
Chemische Proportionen, f. Verwandts-
 chaft, chemische VI, 567 ff.
Chemische Verbindung, f. Verwandts-
 chaft, chemische VI, 539, Lösung
 IV, 647.
Chemische Wirkungen der Electricität, f. Gal-
 vanismus III, 331—382 (vergl. auch
 Zersetzung, elektrochemische VI,
1055), Gläser, elektrische III, 272 ff.,
 Dion V, 101.
Chemische Wirkungen des Lichts, f. Licht
 IV, 476 ff., Wärme VI, 638 (Wärmee-
 lung).

Chemisches Feuerzeug, f. Feuerzeug III, [182](#).
 Chemisches Moment, f. Verwandtschaft, chemische VI, [575](#).
 Chilisalpeter, f. Natrium V, [14](#).
 Chinesische Purpe, f. Statil VI, [84](#) (in der Anmerkung).
 Chinesischer Spiegel, f. Spiegel VI, [46](#).
 Chinesische Tusche, f. Kohlenstoff IV, [292](#).
 Chinesisches Verzeichniß von Meteorsteinfällen, f. Feuerkugel III, [166](#) (Anmerkung).
 Chinin, f. Basen, organische I, [747](#).
 Chlor, Chlorine I, [957](#).
 Chlorantimon, f. Antimon I, [239](#).
 Chlorarsenik, f. Arsenik I, [361](#).
 Chlorbarium, f. Barium I, [746](#).
 Chlorblei, f. Blei I, [855](#).
 Chlorkalcium, f. Calcium I, [921](#).
 Chlorchrom, f. Chrom I, [969](#).
 Chlorcyan, f. Kohlenstoff IV, [319](#).
 Chlorgas, f. Chlor I, [958](#).
 Chlorige Säure, f. Chlor I, [959](#).
 Chlorit, f. Berg I, [784](#).
 Chlorjod, f. Chlor I, [963](#).
 Chlorkalium, f. Kalium IV, [206](#), [208](#).
 Chlorkalk, f. Calcium I, [923](#) ff.
 Chlorkiesel, f. Silicium V, [903](#).
 Chlorkobalt, f. Kobalt IV, [287](#).
 Chlorkalium, f. Lithium IV, [381](#).
 Chlormetalle, f. die einzelnen Metalle.
 Chlornatrium, f. Natrium V, [18](#).
 Chlorometrie I, [963](#).
 Chlorophan, Früchten desselben, f. Licht IV, [493](#).
 Chloroxyd, f. Chlor I, [959](#).
 Chlorplatin-Ammoniak, f. Platin V, [390](#) f.
 Chlorphosphor, f. Chlor I, [962](#).
 Chlorräucherungen, f. Desinfection II, [466](#).
 Chlorsäure, f. Chlor I, [960](#).
 Chlorsaures Kali, f. Kalium IV, [206](#).
 Chlorsaure Salze, f. Chlor I, [960](#).
 Chlorschwefel, f. Chlor I, [963](#).
 Chlorsilber, f. Silber V, [888](#) ff.
 Chlornitrostoff, f. Stickstoff VI, [132](#).
 Chlornasser, f. Chlor I, [958](#).
 Chlornasserstoff, f. Chlor I, [960](#), Licht IV, [476](#) ff.
 Chlornasserstoffsäure, f. Chlor I, [960](#), Licht IV, [476](#) ff.
 Chloryttrium, f. Yttrium VI, [1038](#), [1039](#).
 Chlorzink, f. Zink VI, [1090](#).
 Chlorzinn, f. Zinn VI, [1102](#).
 Chorographie, f. Geographie III, [508](#).
 Chrom I, [967](#).
 Chromadot I, [969](#).
 Chromalaun, f. Chrom I, [968](#), Alaun I, [136](#), Farbe III, [43](#).

Chromatische Abweichung, f. Abweichung I, [100](#).
 Chromatische Tonleiter, f. Ton VI, [387](#).
 Chromatrop I, [971](#).
 Chromchlorür, f. Chrom I, [969](#).
 Chromfluorid, f. Chrom I, [969](#).
 Chromgelb, f. Chrom I, [969](#).
 Chromgrün, f. Chrom I, [967](#).
 Chromoxyd, f. Chrom I, [967](#), Aluminium I, [140](#).
 Chromoxydhydrat, f. Chrom I, [967](#).
 Chromoxydsalze, f. Chrom I, [967](#).
 Chromsäure, f. Chrom I, [968](#).
 Chromsaurer Baryt, f. Chrom I, [968](#).
 Chromsaurer Bleioxyd, f. Chrom I, [969](#).
 Chromsaurer Chromchlorid, f. Chrom I, [969](#).
 Chromsaurer Kali, f. Chrom I, [968](#).
 Chromsaure Salze, f. Chrom I, [968](#).
 Chromologie I, [971](#).
 Chronometer I, [972](#).
 Chronoskop, elektromagnetisches, f. Strom, elektrischer VI, [197](#).
 Chryphorus (Aryphorus), f. Verbundung und Verdampfung VI, [498](#).
 Chymie, f. Chemie.
 Chrysotyppapier, f. Photographie V, [271](#).
 Cinchonin, f. Basen, organische I, [747](#).
 Circularpolarisation des Lichtes, f. Polarisation des Lichtes V, [410](#), [417](#).
 Circularpolarisation der Wärme, f. Polarisation der Wärme V, [466](#) ff.
 Circumpolarsterne I, [977](#).
 Cirrocumulostratus, f. Wolken VI, [1017](#).
 Cirrocumulus, f. Wolken VI, [1017](#).
 Cirrostratus, f. Wolken VI, [1017](#).
 Cirrus, f. Wolken VI, [1017](#).
 Claviaturen bei Orgeln, f. Ton VI, [432](#).
 Clavier, f. Ton VI, [428](#).
 Clarinette, f. Ton VI, [431](#).
 Coaks (Roaks), f. Heizung III, [737](#).
 Cocoonuköl, f. Verseifung VI, [515](#).
 Coërcitivkraft, f. Magnetismus IV, [747](#).
 Elektromagnetismus II, [817](#) ff.
 Cohäsion I, [977](#). Cohäsion tropfbar flüssiger Körper 977—979. Aufstoßen tropfbarer Flüssigkeiten beim Sieden 979 (vergl. Quelle V, [569](#)). — Verwandtschaft, chemische VI, [540](#), Lösung IV, [647](#) ff., Materie IV, [928](#).
 Cohäsionsplatten, f. Adhäsionsplatten I, [110](#).
 Cohobiren, f. Destillation II, [469](#).
 Coincidenz, f. Pendel V, [178](#).
 Colchicin, f. Basen, organische I, [747](#).
 Collectivglas, f. Zinsenglas IV, [546](#).
 Collectivlinse, f. Zinsenglas IV, [546](#); Mikroskop VI, [1056](#).

Collector, s. Condensator I, 1000, 1008.
 Collimation, Collimationsfehler, s. Collimator I, 980.
 Collimationslinie, s. Passageninstrument V, 142.
 Collimator und Collimationsfehler I, 980, Passageninstrument V, 141 ff.
 Collodium und Collodiumbilder, s. Photographie V, 260 f., Stickstoff VI, 130.
 Colophonium, s. Harze III, 699.
 Columbit, s. Tantal VI, 211.
 Combinationstöne, s. Interferenz IV, 104 ff., Ton VI, 396 ff.
 Communicationsröhre, s. Sprachrohr VI, 64.
 Communicirende Gefäße oder Röhren, s. Statik VI, 92.
 Commutation, s. Planeten V, 332.
 Commutator I, 981. Commutator Jacobbi's 981. Dujardin's Commutator 982 ff.; vergl. auch Invenfor IV, 114.
 Compas, s. Declinatorium II, 461.
 Compensation I, 982 ff., Rospendel 985, Einrichtung von Herapath 987. Compensationspendel von Jürgensen 987 ff. Beschreibung einer Compensation nach Biot 989. Compensation des Pendels durch Quecksilber 991. Compensationspendel mit Hebelwerk 992. Compensation an der Unruhe in den Federuhren (Chronometern) 993; die Compensation an der Spiralfeder 993, an der Unruhe 994.
 Compensation der magnetischen Abweichung, s. Ablenkung der Magnetenadel I, 14.
 Compensationspendel, s. Compensation (im Register).
 Complementärfarben, s. Farbe III, 45.
 Componenten, s. Bewegung I, 816.
 Compositionsmetall, s. Zinn VI, 1096.
 Compressibilität, s. Zusammendrückbarkeit VI, 1109, Elasticität II, 697 f.
 Compressionsmaschine I, 995. Formel für die Dichte der comprimierten Luft 996. Apparat von Haas und Hurter 997, von Repsold 998. — Luftpumpe IV, 727.
 Compressionsmesser, s. Compressionsmaschinen I, 998.
 Compressionspumpe, s. Compressionsmaschinen I, 998.
 Concave Linsen, s. Linsenglas IV, 544.
 Concaver Meniscus, s. Haarröhrchenwirkung III, 657.
 Concav-Spiegel, s. Spiegel VI, 50.
 Concentriren, s. Abdampfen I, 1.

Condensation der Gase, s. Verdichtung der Gase VI, 482.
 Condensationsapparate zur Verdichtung der Gase, s. Verdichtung der Gase VI, 483, 487, 489, 491.
 Condensationshygrometer, s. Hygrometer, III, 894.
 Condensationsmaschinen, s. Compressionsmaschinen I, 995.
 Condensationsmaschinen (einfach wirkende Dampfmaschinen), s. Dampfmaschine II, 264.
 Condensationspumpe, s. Compressionsmaschinen I, 995.
 Condensator der Electricität I, 999. Gewöhnliche Condensatoren 999—1001. Verfahren beim Gebrauch 1002. Condensirende Kraft des Instruments 1003 (vergl. Tafel, elektrische VI, 208). Doppelter Condensator 1007. Collector 1008. Beschreibung eines Condensators nach Mund af Rosenschöld 1010. Condensator von Beclet 1010. Condensator von Kohlrausch, verbunden mit dem Dellmann'schen Elektrometer 1011. Nobili's elektrodynamischer Condensator 1013. Elektrochemischer oder Voltascher Condensator von de la Rive 1014.
 Condensator der Dampfmaschine, s. Dampfmaschine II, 251 ff., 264 ff.
 Conductor, s. Elektrifizirmaschine II, 767 f.
 Conglomerat, s. Berg I, 785.
 Coniin, s. Basen, organische I, 747.
 Conischer Hahn, s. Reibung V, 630.
 Conisches Pendel, s. Pendel V, 161, 175 f.
 Conjunction, s. Aspecten I, 363, insbesondere Planeten V, 322 (Anmerkung).
 Conservation der Nahrungsmittel, s. Fäulniß III, 5, Trocknen VI, 447 ff.
 Conservation der Zeichen, s. Fäulniß III, 5.
 Conservationsbrillen, s. Brillen I, 914.
 Consonanzen, s. Ton VI, 392.
 Constitutionswasser, s. Salze V, 686.
 Contact-Electricität, s. Galvanismus III, 304.
 Contactthermometer, s. Wärme VI, 676.
 Continente, s. Erde II, und Meer IV, 979, Berg I, 770.
 Continentalklima, s. Klima IV, 268.
 Contraction des ausfließenden Strahles, s. Ausfluß des Wassers und der Luft I, 626, 638 ff.
 Contractioncoefficient I, 626.
 Converge Linsen, s. Linsenglas IV, 544.
 Conver-Spiegel, s. Spiegel VI, 50, 52.
 Copaiwabalsam, s. Harze III, 699.
 Coyal, s. Harze III, 701.
 Corona, s. Mond IV, 1116.
 Corpuscularphilosophie, s. Atom I, 364.

Correctionen beim Pendel, f. Pendel V, 171—173.
 Correctionscheibe, f. Ablenkung der Magnetnadel I, 10.
 Correspondirende Höhen, f. Höhe eines Gebirges III, 806.
 Cremor tartari, f. Kalium IV, 207.
 Crown Glas, f. Glas III, 614.
 Culmination I, 1015.
 Culminationshöhe eines Gebirges, f. Berg I, 778.
 Culminationszeit, f. Culmination I, 1016.
 Cumulostratus, f. Wolken VI, 1017.
 Cumulus, f. Wolken VI, 1017.
 Cyan, f. Kohlenstoff VI, 315.
 Cyaneisen, f. Eisen II, 619.
 Cyaneisen-Kalium, f. Eisen II, 619, Kalium IV, 209.
 Cyanide, f. Kohlenstoff IV, 320.
 Cyankalium, f. Kalium IV, 209.
 Cyanotyppapier, f. Photographie V, 271.
 Cyansäure, f. Kohlenstoff IV, 316, Cyansäurehydrat 316.
 Cyansaures Ammoniumoxyd, f. Kohlenstoff IV, 316.
 Cyan Silber, f. Silber 889 ff.
 Cyansäure, f. Kohlenstoff IV, 316.
 Cyanüre, f. Kohlenstoff IV, 320.
 Cyanursäure, f. Kohlenstoff IV, 316.
 Cyanwasserstoffsäure, f. Kohlenstoff IV, 317.
 Cycloidenpendel, f. Pendel V, 163 ff.
 Cyclos I, 1016. Mondencyclus 1016. Goldene Zahl 1016. Sonnenencyclus 1016. Indictionencyclus 1017.
 Cylinder an Dampfmaschinen, f. Dampfmaschine II, 358, 360, 367, 413, 416; Locomotive IV, 590.
 Cylinder, berganlaufender, siehe Ebene, schiefe II, 589.
 Cylindergebläse, f. Gebläse III, 490 ff.
 Cylinderhemmung, f. Chronometer I, 973.
 Cylinderloupe, f. Mikroskop IV, 1046.
 Cylindermaschine, f. Elektrifizirmaschine II, 766.
 Cylinderpressen, f. Presse V, 481.
 Cylinderspiegel I, 1017.
 Czernigper See, f. Seen V, 823.

Damadener Stahl, f. Eisen II, 627.
 Damenwinde, f. Winde VI, 967.
 Dämmerung II, 1. Gegendämmerung 2. Glühen der Alpen 3 f. Dämmerungsschein 5. Beobachtung der Grenzen der Dämmerungscurven auf Bergen 6 ff. Ende der Dämmerung 8. Morgendämmerung 11 f.

Dämmerungsstrahlen 13 f. Bürgeltische Dämmerung 18. Astronomische Morgen- und Abenddämmerung 18 f. Ueber Berechnung der Höhe der Atmosphäre aus der Dämmerung 17 f. Streuung einer horizontalen Fläche durch das Licht der Dämmerung bei verschiedener Tiefe der Sonne 19.
 Dämmerungskreis, f. Dämmerung II, 13.
 Dämmerungsschein, f. Dämmerung II, 3.
 Dämmerungsstrahlen, f. Dämmerung II, 13 f.
 Daguerrestypie, f. Photographie V, 231 f.
 Dampf II, 20. Begriffbestimmung 20 f. Spannkraft des Dampfes 21. Sieden oder Kochen 22 f. Kochen von Salzlösungen 23. Einfluß der Gefäßwand auf das Kochen 24 ff. Siedepunkte von Salzlösungen 29 ff. Curven der Verzögerung des Siedepunktes bei Salzlösungen 31. Tabellen über den Verzug des Siedepunktes bei Salzlösungen 31—35. Ueber die Veränderungen der Siedetemperatur, welche eine Flüssigkeit dadurch erleidet, daß sie mit irgend einer anderen Flüssigkeit in demselben Gefäße sich befindet, in welchem Kochen wird 36 f. Verhalten der Dämpfe zweier Flüssigkeiten, die in ihrem tropfbaren Zustande sich mischen 38. Sieden beim Sieden der Flüssigkeiten 39 f. Aufstossen der Flüssigkeiten beim Sieden 40 f. Ueber die Erscheinung, daß der Boden von Gefäßen, in welchem Wasser siedet, eine verhältnismäßig niedere Temperatur hat 41 f. Wasser- oder Marienbad 42. Einfluß des Luftdrucks auf die Siedetemperatur 42 f. Reidenfrost'sches Phänomen 43—45 (f. auch Wärme VI, 703—708). Maximum der Dichte des Dampfes; Zustand der Sättigung 50. Gebundene (latente) und freie Wärme 51 f. Verhältniß zwischen der freien und latenten Wärme des Dampfes 52 ff. Versuche über die Verdampfungswärme des Wassers bei verschiedenen Drucken 54 f. Versuche über die latente Wärme des Dampfes 55 ff. Verdampfungswärme der Atome 61. Andrews's Versuche über die latente Wärme verschiedener Stoffe 63 ff. Pouillet's Betrachtungen über die gesammte Wärmemenge, welche ein Kilogramm Dampf bei irgend einer Temperatur und beim Maximum der Spannung enthält 67 f. Latente Wärme des Wasserdampfes für die Temperatur 0°. Nähere Beschreibung der Versuche Regnault's über die latente Wärme des Wasserdampfes 69—86. Prüfung der Gesetze von Watt und Southern 84 f. Regnault's empirische Formel zur Bestim-

mung der Gesamtwärme des Dampfes 85. Angaben über die latente Wärme des Wasserdampfes für die Siedetemperatur 86. Versuch über die Elasticität der Dämpfe 86 f. Verzüglichkeitsapparate, welche zur Untersuchung der Elasticität der Dämpfe angewandt sind 88—117. Resultate der verschiedenen Beobachtungen über die Elasticität des Dampfes bei verschiedenen Temperaturen 118—123. Tafel von Arzberger, berechnet nach einer Formel, welche die Elasticität des Dampfes bei verschiedenen Temperaturen angibt 124 ff. Tafel von Viet über die Elasticität des Wasserdampfes von -20° bis 100° C. 128 f. Tafel nach den Versuchen von Arago und Dulong 129 f. Formel und Tafel von Magnus 131. Formel und Tafel von Regnault 131 f. Tabelle über die Elasticität des Wasserdampfes für die Temperaturen über 100° , 133 f. Verschiedene Formeln für die Elasticität des Wasserdampfes 135—141. Dalton'sches Gesetz 141. Versuche über die Elasticität der Weingeistdämpfe 141 ff. Elasticität des Quecksilberdampfes 143 ff. Schwefelätherdampf 147 f. Schwefelkohlenstoffdampf 149 f. Kohlenwasserstoffgas 151 f. Steinöl- und Terpentinöldampf 152. Condensation verflüchtigter Gase 152 (f. Verdichtung der Gase VI. 482). Verhalten zwei oder mehrer Gase (Dämpfe) in einem und demselben Raume 153 ff. Bestimmung der Dichte oder des spezifischen Gewichtes der Dämpfe 155 ff. Gay-Lussac's Verfahren 157. Tabelle über die Dichtigkeit und das Volumen des Wasserdampfes im Maximum der Spannkraft, von -20° bis 100° C. 160 f. Dichtigkeit und Volumen des Wasserdampfes im Maximum der Spannkraft, von 1 bis 50 Atmosphären 161 f. Dumas' Verfahren zur Bestimmung der Dichtigkeit des Wasserdampfes 163 ff. Hilfstafeln zur Berechnung der Dichte 171 ff. Versuche von Andrien, Branner und Schmedding über die Dichtigkeit des Wasserdampfes 177. Regnault's Versuche 178 ff. Tafeln über die Dichtigkeit der Gase und Dämpfe, nach Bregenderf 179—199. Benützung des Dampfes 200. — Verzüglich der mechanischen Wirkung des Wasserdampfes ist zu vergleichen Art. Dampfmaschine II, 283.

Dampfauslaßventil, f. Dampfmaschine II, 335.

Dampfverteilung, f. Dampf II, 21 f., Atmosphäre I, 537 ff., Verdunstung und Verdampfung VI, 495 f.

Dampfbläschen (Dunndampfbälchen) f. Dunndampf

II, 563 f., Nebel V, 37 ff., Wollen VI, 1014.

Dampfgehalt der Atmosphäre, f. Atmosphäre I, 537—560, Hygrometer III, 886 ff.

Dampfgeschütz II, 201. Geschichtliches 202 ff. Bertrams Dampfgeschütz 203 f. Reffens Dampfgeschütz 206 ff. Skizze eines Dampfgeschützes nach Bertrams neuer Konstruktion 211 f. Abänderung desselben 213 ff. Indirecte Dampfgeschütze 215 ff. Berechnung der Wirkung des Dampfgeschützes 217 ff. Numerische Berechnung einiger Beispiele, und Vergleichung des Resultats zwischen Dampf, Pulver und comprimierter Luft 223 ff.

Dampfheizung, f. Heizung III, 774.

Dampfhöhlen, f. Höhlen III, 836.

Dampfkegel, f. Dampfmaschine II, 321 f.

Dampfkegel II, 206.

Dampfmaschine II, 240. Begriffsbestimmung 240 f. 1. Allgemeine Charakteristika der Dampfmaschinen 241—281. Verschiedene Art und Weise, wie der Dampf wirken kann 241 f. Wirkung des Dampfes durch Trud, Condensation, Expansion und Reaction 242. Rugeffect aus der Wurfbewegung, Expansion und Condensation des Dampfes 243. Wurfbewegung des Dampfes 243 ff. Wirkung des Dampfes, welche bei der Dampfmaschine selbst unmittelbar in Anwendung kommt 249 ff. Atmosphärische Maschine von Newcomen 251. Papin's Kolbendampfmaschine mit Condensation 256 f. Einige summarische Gesetze der Dampfverteilung 260. Papin's Hochdruckmaschine ohne Condensation 261. Watt's einfach wirkende Dampfmaschine 264. Rückblick auf die Expansion des Dampfes 267 f. Berechnung der Arbeit des expandirenden Dampfes 269 f. Watt's doppelt wirkende Dampfmaschine 273 f.; derselbe mit Niederdruck und Condensation 275 f. Dampfmaschine mit Mittelruck, Condensation und Expansion (Woolf'sche Maschine) 278. Berechnung des Rugeffets der Woolf'schen Maschine 280. Hochdruckmaschine ohne Condensation 282. — II. Gesetze der mechanischen Wirkung des Wasserdampfes 285—320. Tabelle über Spannkraft, Temperatur und Dichte des gesättigten Wasserdampfes 286. Absolute u. relative Dichtigkeit des Dampfes 289. Absoluter und relativer Dampfdruck 291 f. Abreißiger Wasserdampf 293 f. Gehalt des Maximums der Dichtigkeit des Dampfes 297. Bamber's Versuche über die Veränderungen des

- Druckes und der Temperatur des Wasserdampfes während seiner Wirkung in den Maschinen 300. Mechanische Arbeit des Dampfes 303 ff. Tabelle über das Verhältniß der Arbeit des Dampfes mit und ohne Condensation 309. Poncelet's Formel für die Arbeitsgröße, welche der Expansion allein entspricht 310. Leistung einer Dampfmaschine durch den Brennstoffaufwand ausgedrückt 313 f. — III. Dampferzeuger oder Dampfkessel 321—347. 1) Form der Kessel 322—326. 2) Verdampfungsvermögen des Kessels 326—332. 3) Festigkeit und Sicherheit der Kessel 333 ff. Speisen des Dampfkeßels mit Wasser 337 ff. Probirhähne 340. Sicherheitsventil 341. Manometer 343 ff. IV. Eintheilung und Beschreibung der charakteristischen Dampfmaschinenysteme 347 bis 372. Hochdruckmaschine ohne Expansion 348 f. Hochdruckmaschine mit Expansion 353 f. Hochdruckmaschine mit variabler Expansion von Meyer 357. Mitteldruckmaschinen 358 f. Cornwallmaschinen mit Expansion und Condensation 361. Niederdruckmaschine von Watt 367. — V. Dynamische Bewegungen der Dampfmaschine 373—380. — VI. Widerstände und Verluste der Dampfmaschine 380—389. — VII. Analytische Theorie der Dampfmaschinen 389—409. — VIII. Disposition und Konstruktion der Dampfmaschinen 409 bis 429. — IX. Geschichte der Erfindung und Anwendung der Dampfmaschine 430—452.
- Dampfseife, f. Dampfmaschine II, 339. Locomotive IV, 590.
- Dampfraum, f. Dampfmaschine II, 332.
- Dampfschiff, f. Schiff V, 720 f.
- Dampfwagen, f. Locomotive IV, 582.
- Dashmeter II, 452.
- Daturin, f. Basen, organische I, 747.
- Decimal-Secundenpendel, f. Pendel V, 161.
- Decrepitiren II, 452.
- Deflagrator (Calorimotor), f. Säule, galvanische V, 649.
- Dehnbarkeit II, 453. Spröde Körper im Gegensatz zu den dehnbaren 453. Drahtziehen 454. 456. Geschmeidige und spröde Metalle 455. Walzwerk 455. Dehnbarkeit des Goldes 456. Geschmeidigkeit des Platins und Silbers 458 f. Glasfäden 459 f. Dehnbarkeit des menschlichen Haares 460. Spinnfäden 460.
- Dehnkraft, f. Expansibilität II, 950.
- Defantiren, f. Abgießen I, 3.
- Deklination eines Gestirnes, f. Abweichung, astronomische I, 46.
- Deklination der Magnetenadel, f. Abweichung, magnetische I, 47.
- Deklinationkreis, f. Abweichung, astronomische I, 46.
- Deklinatorium II, 460. Boussole, Markscheidercompaß, Steuercompaß, Azimutthalcompaß 401 f. Gruben- und Zulegecompaß 461. Boussole zum militärischen Aufnehmen 464.
- Delphinin, f. Basen, organische I, 747.
- Desinfection, Desinfection II, 464. Reinigung der Luft auf mechanischem Wege 464 f. Chemische Desinfectionsmittel 465 ff.
- Desoxydiren II, 467. Reductionsprocess; Reductionsmittel 467.
- Destillation II, 468. Begriffsbestimmung 468. Trockne Destillation; Sublimation; Abziehen; Cohobiren; Rectificiren 469. Aufsteigende Destillation 469. Schräge Destillation 470. Absteigende Destillation 471.
- Destillationsapparat, f. Destillation II, 468.
- Detonation II, 471.
- Deul, f. Eisen II, 625.
- Deuse (Düse), f. Eisen II, 623.
- Dettrin II, 471.
- Diabetes, f. Heber III, 719.
- Diagometer, f. Leiter der Electricität IV, 460.
- Diagonalmaschine II, 472.
- Diakausische Linie, f. Brennlinie I, 909.
- Diakusik II, 473.
- Dialytisches Fernrohr, f. Fernrohr III, 113.
- Diamagnetismus, f. Magnetismus IV, 784—797 ff., 801—808.
- Diamant II, 474.
- Dianenbaum, f. Metallbaum IV, 1023.
- Diaphragma II, 477. Fernrohr III, 100, 118. Linsenglas IV, 563.
- Diastase II, 477.
- Diathermane Körper, f. Diathermanität II, 477. Wärme VI, 624 ff.
- Diathermanität II, 477. Wärme VI, 624 ff., 633 f., 645 f.
- Diathermanie II, 477. Wärme VI, 634.
- Dictepter, f. Mikroskop IV, 1048.
- Dichte, Dichtigkeit II, 479. Begriffsbestimmung 479 f. Tabelle über die Dichte verschiedener fester und tropfbarer Körper 480 ff.
- Dichte, mittlere, f. Dichte II, 479.
- Dichtigkeitsmesser, f. Manometer IV, 880.

- Dichroit II, [478](#).
 Didymium II, [493](#).
 Didymoryd, f. Didymium II, [493](#).
 Didymorydhydrat, f. Didymium II, [493](#).
 Didymorsalze, f. Didymium II, [496](#).
 Dicke von Blechen zu messen, f. Sphärometer V, [41](#).
 Dienung, f. Meer IV, [1000](#).
 Differentialbarometer II, [497](#), von August [497](#) f., von Ropp [499](#) ff (f. auch Volumenometer VI, [382](#)).
 Differentialbeobachtungen II, [302](#).
 Differentialinductor Faraday's, f. Elektrizität II, [731](#).
 Differentialinductor Dove's, f. Induction, elektrische IV, [27](#).
 Differentialmanometer f. Dampfmaschine II, [343](#).
 Differentialthermometer II, [303](#); D. von Leslie [303](#). Herstellung des Instrumentes nach de Vutt [304](#). Rumford's Thermoskop [305](#). Mikrokolorimeter [306](#). — Vergl. Thermometer VI, [342](#).
 Diffraction, f. Inflection IV, [37](#).
 Diffusion II, [306](#). Diffusion der Gase ohne Scheidewand [306](#) f. Zeit des Entweichens gleicher Volume der Gase aus einem Gefäße [308](#). Diffusion der Gase für den Fall, daß sie durch poröse Scheidewände getrennt sind [309](#) ff. Äquivalentes Diffusionsvolumen [311](#). Berechnung von Boggendorff [312](#). Betrachtung von Thomson [314](#). Diffusion tropfbarer Flüssigkeiten bei unmittelbarer Berührung derselben [316](#). Trennung verschiedener Salze durch Diffusion [319](#). Zerlegung eines Salzes durch Diffusion [320](#). Geschwindigkeit der Diffusion bei Salzlösungen [321](#). Folgerungen [322](#).
 Digestion II, [323](#).
 Digestor (Bavinisher Topf) II, [323](#). Princip desselben [323](#) f. Zweck des Digestors [324](#) f. Bedingung rücksichtlich dieser Zwecke [325](#). Digestor für wissenschaftliche Zwecke [326](#) f. Brechtl's Druckdigestor für technische Zwecke [327](#) f. Der Digestor als Kochapparat [328](#) ff.
 Diheraeder, f. Krystall IV, [369](#).
 Dimorph II, [331](#).
 Dinte, f. Tinte.
 Dioclaeder, f. Krystall IV, [367](#).
 Diopter, f. Alhidade I, [137](#).
 Dioptrik II, [332](#).
 Dioptrisches Mikroskop, f. Mikroskop IV, [1036](#).
 Diorit, f. Berg I, [783](#).
 Diplanometer, f. Anemoskop I, [192](#).
 Dipleidoskop II, [334](#).
 Diplometer, f. Sehen V, [838](#).
 Diploskop, f. Farbe III, [43](#) f.
 Dipsector II, [335](#).
 Dithionige Säure, f. Schwefel V, [763](#).
 Dithionsäure, f. Schwefel V, [763](#).
 Directe Bewegung der Planeten, f. Planeten V, [320](#) (Anmerkung).
 Dispersion, f. Brechbarkeit und Farbe.
 Dissonanz, f. Ton VI, [382](#).
 Distanz zweier Gestirne u. mittelst des Sextanten zu bestimmen, f. Spiegelsextant VI, [36](#).
 Disthen II, [336](#).
 Ditetraeder, f. Krystall IV, [364](#).
 Dodekaeder, f. Krystall IV, [364](#).
 Dolomit, f. Berg I, [783](#).
 Dolomit II, [336](#).
 Dollond's achromatisches Objectiv, f. Fernrohr III, [111](#).
 Donarium II, [337](#). Vgl. Einfache Körper oder Stoffe II, [398](#) (Anmerkung).
 Donner, f. Gewitter III, [396](#) ff.
 Donnerbüchse, f. Pistole, elektrische V, [316](#).
 Donnerhaus II, [337](#).
 Doppelarmiger Hebel, f. Hebel III, [707](#).
 Doppelbarometer, f. Barometer I, [675](#).
 Doppелеlektrophor, f. Elektrophor II, [852](#).
 Doppelmikroskop, f. Mikroskop IV, [1053](#).
 Doppelnebel, f. Nebelflecke V, [44](#).
 Doppelsalze, f. Salze V, [681](#).
 Doppelspath, f. Brechung des Lichtes I, [892](#).
 Doppelsterne II, [338](#). Optische und physische Doppelsterne [339](#). Zahl der gemessenen Doppelsterne [341](#). Beantwortung der Frage, ob gewisse Sternpaare wirkliche oder scheinbare Doppelsterne sind [341](#) ff. — Vergl. Fixsterne III, [215](#) f., [220](#) f.
 Doppelventile, f. Dampfmaschine II, [339](#), [366](#).
 Doppelte Strahlenbrechung, f. Brechung des Lichtes I, [892](#). Polarisation des Lichtes V, [394](#) f.
 Doppelstrich, f. Magnetismus IV, [750](#).
 Doppelter Condensator, f. Condensator I, [1007](#).
 Doppelter Heber, f. Heber III, [714](#).
 Doppelter Hof, f. Hof III, [862](#).
 Doppeltsehen, f. Sehen V, [834](#) ff., [839](#), Sinne V, [931](#) f.
 Doppeltwirkende Dampfmaschinen, f. Dampfmaschine II, [273](#) f.
 Doppelung, f. Polarisation des Lichtes V, [446](#) f.
 Dosenbarometer II, [345](#).
 Drache, elektrischer II, [346](#).
 Drache, fliegender, f. Feuerfugel III, [147](#).
 Drachenkopf, f. Knoten IV, [284](#).
 Drachenmonat, f. Monat IV, [1103](#).
 Drachenschwanz, f. Knoten IV, [284](#).

Draconitischer Monat, s. Monat IV, 1103.
 Drähte, deren Festigkeit, s. Festigkeit III, 126.
 Drehende Schwingungen, s. Ton VI, 405 f.
 Drehscheiben, s. Eisenbahn II, 648 ff.
 Drehung der Erde, Beweise für dieselbe, s. Erde II, 901 ff. Pendel V, 164.
 Drehungen (elektromagnetische) der Leitungsdrahte und Magnete, s. Elektromagnetismus II, 787 ff.
 Drehungselaſticität, s. Torsion VI, 433.
 Drehungsgeſetz des Windes, s. Wind VI, 976.
 Drehwaage II, 348 (s. auch Torsion VI, 433 f.). Erde II, 909. Anwendung der Drehwaage zu elektriſchen Verſuchen, s. Elektrometer II, 837 f., zu magnetiſchen Verſuchen, s. Magnetismus IV, 763 f.
 Dreiecke, s. Kryſtall IV, 359.
 Drillinge, s. Kryſtall IV, 382.
 Droſometer II, 351.
 Drefſelklappe, s. Dampfmaſchine II, 370.
 Druck II, 331. Begriffsbeſtimmung 331 f. Lebendige und tode Maſſen 332. Relative Ruhe beim Drucke zweier Körper 332 f. Druck und Zug 333 f. Einheit der Kräfte 333. Definitionen 336—339. Richtung und Intenſität des Druckes 337. Mittel- und Zerlegung und Zuſammenſetzung des Druckes; Mittellinie des Druckes, Richtungslinie des Druckes 338. Ariome und Geſetze 339—362. Verwandlung von Druck in Zug und umgekehrt 339 f. Gleichheit zweier Druck- oder Zugkräfte 360. Fortpflanzung oder Verbreitung des Druckes in feſten und flüſſigen Körpern 360 f. — Vergl. Bewegung I, 806 ff., Mechanik IV, 932, Statiſt VI, 88 ff., 100.
 Druck-Elasſicität, s. Elasſicität II, 683, 697, Gas III, 411, Expansion II, 930.
 Druckpumpe, s. Pumpe V, 490.
 Druckſpringbrunnen, s. Heronsball III, 788, Heronsbrunnen III, 789.
 Druckventilator, s. Ventilator VI, 469.
 Drummond'sches Licht II, 362.
 Dualiſtiſche Theorie, elektriſche, s. Elektriſcität II, 743 f. Galvanismus III, 366.
 Ductilität, s. Dehnbarkeit II, 453.
 Dünen, s. Meer IV, 989.
 Düſe, s. Eiſen II, 623.
 Dunkle Kammer, s. Camera obscura I, 933.
 Dunkle Körper, s. Licht IV, 313.
 Dunſt II, 363.
 Dunſtbläſchen, s. Dunſt II, 363 ff., Nebel V, 37 f., Wolken VI, 1014.
 Dunſthülle, Dunſtkreis, s. Atmoſphäre I, 452.
 Duplicator der Elektriſcität 363. Apparat von Bennet 366. Vorrichtungen von Cavallo und Behnenberger 367. Niſcholson's Duplicator 368 ff.

Durchdringlichkeit poröſer Körper für Gaſe und tropfbare Flüſſigkeiten, s. Diffuſion II, 306, und Croſmose II, 940.
 Durchgang eines Geſtirnes durch den Meridian, s. Culmination I, 1013.
 Durchgang der unteren Planeten durch die Sonnenscheibe II, 370.
 Durchgangsinſtrument, s. Paſſageninſtrument V, 439.
 Durchkreuzungspunkte der Schienen, ſiehe Eiſenbahn II, 649.
 Durchſieihen, s. Filtriren III, 199.
 Durchſichtig, s. Licht IV, 314.
 Durchſichtigkeit verſchiedener Körper, s. Photometer V, 306.
 Durchſichtigkeit des Meerwaſſers, s. Meer IV, 997.
 Dynamik, s. Mechanik IV, 934 f.
 Dynamometer II, 372. Vergl. Kraftmeſſer IV, 341.

Ebbe und Fluth II, 373. Spring- und Nippluthen 374. Tabelle über die in Fußten ausgedrückten Unterſchiede des hohen und niedrigen Waſſerſtandes zur Zeit der Springfluthen in Häfen und an den Küſten 375. Unregelmäßigkeiten einzelner Gegenden 376. Zuſammenhang der Ebbe und Fluth mit der Stellung des Mondes 376. Erklärung 377 f. Iſorachien 379. Modificationen der Ebbe und Fluth in Kanälen, Häfen und kleineren Meeren 379. Vereinte Wirkung der Sonne und des Mondes 380. Eine Taſel, welche benugt werden kann, um aus der durch Erfahrung bekannten mittleren Höhe der Spring- und niedrigen Fluthen die Höhe der Fluth für irgend einen anderen Tag an dem nämlichen Orte zu beſtimmen 381. Ebbe und Fluth bei Erdbeben 382. Ebbe und Fluth in großen Flüssen 382 f.

Ebene oder gerade Fläche II, 383. Begriffsbeſtimmung 383 f. Wagerichte oder horizontale Ebene 384. Geneigte (ſchiefe) Ebene 385. Verhältniſſe zwiſchen Kraft und Laſt bei einem Körper, der auf einer ſchiefen Ebene liegt 385 ff. Relatives oder reſpectives Gewicht 386. Berücksichtigung der Reibung 388. Berganlaufender Cylinder und Regel 389. Queckſilberuhr 389 f. Selbſtwirkende ſchiefe Ebenen 390 f. — Eiſenbahn II, 637.

Ebene, ſchiefe, s. Ebene II, 385 ff.
 Ebenmaßgeſetz, s. Kryſtall IV, 376.
 Echo II, 391. Bedingung für die Entſtehung des Echo 391 f. Einfüßiges, zweifüßiges Echo x.; Nachhall; mehrfaſches Echo; phoniſches und phonokaſtrophes

Centrum 392. Bestimmung der Entfernung des reflectirenden Gegenstandes 392 f. Sonstige Einflüsse 393. Merkwürdige Echos 393 f.

Edelsteine II, 394.

Effervescenz II, 398.

Effloresciren, f. Auswittern II, 644.

Eigenschaft II, 398. — Materie IV, 926 ff., 932, 938 ff.

Einarmiger Hebel, f. Hebel III, 707.

Einfache Farben, f. Farbe III, 32 ff. 35.

Einfache Maschinen, f. Maschine IV, 884.

Einfache Stoffe oder Körper II, 396.

Bergl. Verwandtschaft, chemische IV, 337 f. Materie IV, 943 ff. 945.

Einfallebene, f. Optik V, 97.

Einfallsloth, f. Optik V, 97.

Einfallspunkt, f. Optik V, 97.

Einfallswinkel, f. Optik V, 97.

Eingeschlossene Krystalle, f. Krystall IV, 381.

Eingewachsene Krystalle, f. Krystall IV, 381.

Einklang, f. Ton VI, 383.

Einschattige, f. Schatten V, 713.

Eintritt eines Gefirnes, f. Austritt I, 643.

Eis II, 690. Gefrieren, thauen. Ausdehnung des Wassers im Moment des Gefrierens 600. Das Wasser kann unter den Nullpunkt erkalten, ohne zu erstarren 600 f. Latente Wärme des Wassers 601. Festigkeit und Elasticität des Eises 601 f. Krystallgestalt des Eises 602. Brechungscoefficient des Eises 602 f. Eisblumen 603. Farbe und specifisches Gewicht des Eises 603. Verhalten des Eises zur Wärme 603 f. Das Eis als Leiter der Electricität 604. Aufthauen des Eises 604. Gefrieren der Flüsse; Grundreis 605 f. Eisbildung in den Polarmeeren 609 ff. Eisbildung unter der Luftpumpe 612 f. Eisbildung zu Benares in Ostindien 613 f. Künstliche Vereitung des Eises 614 f. (f. auch Kältemischung IV, 181 ff.). — Verdunstung und Verdampfung VI, 697 ff.

Eisberge, f. Eis II, 610.

Eisblink, f. Eis II, 612.

Eisen II, 613. Reines Eisen 616. Krystallform des Eisens 616. Festigkeit und Zähigkeit des Eisens 617. Kosten des Eisens 617. Galvanisirtes Eisen 618. Verbindungen des Eisens mit dem Sauerstoff 618; mit dem Chlor und Cyan 619 f.; mit Schwefel 620; mit Phosphor und Kohlenstoff 621. Gewinnung des Eisens 621 ff. Verwandlung des Roheisens in Stabeisen 624 ff. Stahl; Stahlfabrikation 626. Legirungen des Eisens; Noire, 627 f.

Eisenbahn II, 628. Widerstand, den die Räder eines Fuhrwerkes bei ihrer Fort-

wälzung auf einer Fahrbahn zu überwinden haben 628 f. Widerstandscoefficienten bei verschiedenen Bahnen 629. Vortheil der Eisenbahn 630 f. Anlage der Eisenbahnen 632 ff. Unterbau und Oberbau 632. Einschnitte, Dämme; verlorne Steigung; Abrollungswinkel 633. Viadukte, Tunnel, 633 f. Brücken, Durchlässe 634. Steigungsverhältnisse 634 f. Undulirende oder wellenförmige Bahnen 636. Rampenmaschinen; selbstwirkende Rampen 637. Oberbau 639. Fahrgleise aus Holz 639. Längsschwellen und Querschwellen 639 f. Gußeiserne Schienen 640. Fischbauchschiene; gerade Schienen; Kantenschiene; Brückenschiene; Fußschiene 641. Unterfügung der Schienen 642. Verschiedene Systeme von Unterlagen der Schienen 642 ff. Befestigung der Schienen; Legen der Schienen 644 f. Spurweite 645. Conservirung der Holzschnellen 646. Unterbettung der Schnellen 646. Durchschnitt und Grundriß eines Einschnittes; Damm mit Verkleidung der Böschung 647. Straßenübergänge; Ausweichstellen 648. Durchkreuzungspunkte der Schienen 649. Sicherheitsschienen, Leitschienen 650. Drehscheibe 650 f. Räder und Aren der Eisenbahnwagen 651. Widerstände, welche bei der Bewegung von Wagen auf Eisenbahnen zu überwinden sind 652—664 (f. auch Locomotive IV, 619, 628, 633 ff.) Bewegende Kräfte, welche auf Eisenbahnen in Anwendung kommen 664—668. Atmosphärische Eisenbahn 669 ff. Verschiedene Eisenbahnssysteme 674 f. Statistische Nachweisungen über Eisenbahnen 675 bis 678; Literatur 678 f.

Eisenbahnschienen, f. Eisenbahn II, 640 ff.

Eisenchlorid, f. Eisen II, 619.

Eisenchlorür, f. Eisen II, 619.

Eisenchlorid, f. Eisen II, 620.

Eisenchlorür, f. Eisen II, 620.

Eisenerze f. Eisen II, 621.

Eisenglanz, f. Eisen III, 618.

Eisenjodür, f. Eisen II, 619.

Eisenlegirungen, f. Eisen II, 627.

Eisenmoor, f. Eisen II, 619.

Eisenoxyd, f. Eisen II, 618.

Eisenoxydhydrat, f. Eisen II, 619.

Eisenoxydorydul f. Eisen II, 619.

Eisenoxydul, f. Eisen II, 618.

Eisensäure, f. Eisen II, 619.

Eisensäuerlinge, f. Quelle V, 362.

Eisenvitriol, f. Eisen II, 618.

Eisfelder, f. Eis II, 609.

Eisgruben, f. Eis II, 615.

Eishöhlen, f. Höhlen III, 836, 840 f.

Eismassen, schwimmende, s. Eis II, 609 f.
Eismeer, s. Eis II, 609 f. Meer, IV, 979 f.
Eisweissstoff II, 680.

Eklipse (gleichbedeutend mit Finsterniß) s. Mond- und Sonnenfinsterniß.

Ekliristik II, 681.

Elasticität II, 682. Begriffsbestimmung 682 f. Elasticitätsgrenze 684. Permanent oder bleibend elastisch 683. Innere Streifigkeit 683. Elasticität der Metalle, Erden, des Glases 686 f. Elasticität thierischer Stoffe und der Vegetabilien 687. Permanente Elasticität der Stahlfedern 687 f. Untersuchungen über die Gesetze der Elasticität 688 ff. Bleibende Verlängerung 692 f. Dauernde und vorübergehende Zusammendrückbarkeit 697. Untersuchungen von Poisson 698 f. Versuche von Wertheim 703 f. Modulus der Elasticität 706 f. Modulgewicht 708. Tabelle über den Elasticitätsmodulus 708 ff. Wirkungsgröße, welche zur Ausdehnung oder Zusammenpressung eines stabförmigen Körpers erforderlich ist 713 f. Bestimmung des Elasticitätsmodulus aus der Biegung und Drehung eines Körpers 713 f. — Festigkeit III, 122, Linie, elastische IV, 327, Zusammendrückbarkeit tropfbarflüssiger Körper VI, 1109; Torsion VI, 433.

Elasticitätsgrenze, s. Elasticität II, 684.

Elasticitätsmodulus, s. Elasticität II, 706 ff.

Elatrometer II, 717. Luftpumpe IV, 724.

Elektricität II, 717. Einige elektrische Grundercheinungen 717. Die elektrische Abstoßung nach stattgehabter Berührung ist stets die Folge einer Mittheilung des elektrischen Zustandes 718. Ungleichartige elektrische Zustände 719. Einfaches Mittel, um zu erfahren, ob ein Körper elektrisch ist 719. Gesetz der elektrischen Vertheilung 720. Nähere Betrachtung verschiedener elektrischer Erscheinungen mit Rücksicht auf theoretische Begründung 721 ff. Freie Elektricität auf der Oberfläche eines Körpers 722 f. Druck der Elektricität gegen die Umgebung 723 f. Vertheilung der Elektricität auf verschiedenen Oberflächen 724. Nähere Betrachtung des Gegensatzes zwischen dem positiv und negativ elektrischen Zustande und der damit zusammenhängenden Erscheinungen 724 ff. Vertheilungs- (Influenz-) Phänomene 724 bis 729. Der Mittheilung der Elektricität geht allemal eine elektrische Vertheilung voraus 729. Freie und gebundene Elektricität 729 f. Vertheilung der Elektricität

auf einem sogenannten Isolator 731. Differential-Inductor Faraday's 731 f. Weiteres über die Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche eines Leiters 732 f. Elektrische Anziehungen und Abstoßungen 733. Versuche mit der elektrischen Nadel, 734. Elektrischer Verlust 735 f. Wirkung der Spitzen 736 f. Rückschlag 737. Geschwindigkeit der Elektricität 738 ff. Symmer'sche (dualistische) Hypothese 743 f. Faraday'sche Ansicht 743 (s. Galvanismus III, 371 ff.). Weitere Erörterung der Elektricitäts-erregung durch Reiben und Betrachtung verschiedener unterscheidender Merkmale zwischen den beiden entgegengesetzten elektrischen Zuständen 743 ff. Lichterscheinungen 748 ff. Lichtenberg'sche Figuren 750 f. — Verschiedene Quellen der Elektricität 752—763. Versuche mittelst der Hydroelektrischmaschine 756 ff. Elektricitätsentwicklung durch den Verbrennungsproceß 758 f. Versuche Henry's 760 f. Elektricitätsentwicklung durch den Vegetationsproceß 761 (s. Pflanzen-Elektricität V, 200). Elektricität in thierischen Organismen 762 (s. Thierische Elektricität VI, 343). Elektricitätsentwicklung durch Wärme 762 (s. Thermoelektricität VI, 273.). Elektricitätsentwicklung durch Magnetismus 763 (s. Induction, elektrische IV, 812 f.). Wirkungen der Elektricität 763 f. (s. Auslader I, 641, Flasche, elektrische III, 262 ff. Funke, elektrischer III, 297, Galvanismus III, 318 ff., Gewitter III, 372 ff. Strom, elektrischer VI, 189 ff., 191 ff.) — Historischer Ueberblick 764 ff. — Vergl. Funke, elektrischer III, 293 f.; Galvanismus III, 304, 366 ff.; Leiter der Elektricität IV, 422, 462 ff., Induction, elektrische, IV, 8, 53 ff., Luft-Elektricität IV, 684, 697 ff. Magnetismus IV, 797, 801 ff.; Wärme VI, 762—769.

Elektricitäts-erregung durch Reiben, s. Elektricität II, 743 ff.; durch Contact verschiedenartiger Körper, s. Galvanismus III, 304; durch Druck; Stoß u. s. f. Elektricität II, 752; durch Aufhebung der Cohäsion, s. Elektricität II, 753; durch Veränderung des Aggregatzustandes, s. Elektricität II, 755; durch detonirende Salze, s. Elektricität II, 759; durch Wärme, s. Thermoelektricität VI, 273; durch Magnetismus, s. Induction, elektrische IV, 8; durch thierische Organismen, s. Thierische Elektricität VI, 343.

- Elektricitätsmesser, s. Elektrometer II, 823.
 Elektricitätsammler, s. Condensator I, 999.
 Elektricitätsträger, s. Elektrophor II, 843.
 Elektricitätsverdoppler, s. Duplicator II, 863.
 Elektricitätszeiger, s. Elektrometer II, 823.
 Elektrische Anziehungen und Abstoßungen, s. Elektricität II, 717 f. 733, Elektrometer II, 837 ff.
 Elektrische Atmosphäre, s. Elektricität II, 720.
 Elektrische Batterie, s. Flasche, elektrische III, 230.
 Elektrische Fische, s. Fische elektrische III, 207.
 Elektrische Flasche, s. Flasche, elektrische III, 243.
 Elektrische Hauchbilder, s. Figuren, elektrische III, 196.
 Elektrische Nadel, s. Elektricität II, 719.
 Elektrische Pistole, s. Pistole, elektrische V, 316.
 Elektrische Tafel, s. Tafel, elektrische, VI, 207.
 Elektrische Theorien, s. Elektricität II, 721—732; Funke, elektrischer III, 223 ff., Galvanismus III, 366—382; Leiter der Elektricität IV, 462 ff.; Luftelektricität IV, 697—808, Induction, elektrische IV, 53 ff.; Magnetismus IV, 801 ff., Wärme VI, 762—769.
 Elektrischer Drache, s. Drache, elektrischer II, 846.
 Elektrischer Funke, s. Funke, elektrischer III, 293. Galvanismus III, 319. Strom, elektrischer VI, 189.
 Elektrische Wage Coulomb's, s. Elektrometer II, 837.
 Elektrischer Hauch, s. Elektrifirmaschine II, 780.
 Elektrischer Schlag, s. Flasche, elektrische III, 232 f., 262 f., 274, Funke, elektr. III, 291, 296 f. Auslader I, 641 f., Elektrifirmaschine II, 780. Galvanismus III, 361 f.
 Elektrisches Bad, s. Elektrifirmaschine II, 779.
 Elektrisches Flugrädchen, s. Flugrädchen, elektrisches III, 288.
 Elektrisches Glockenspiel, s. Glockenspiel, elektrisches III, 625.
 Elektrisches Licht, s. Elektricität II, 748 f., Funke, elektrischer III, 293 ff., Galvanismus III, 319 ff., Strom, elektrischer VI, 189, 193 f.
 Elektrisches Pendel, s. Elektricität I, 719.
 Elektrisches Perpetuum Mobile, s. Säule, galvanische V, 667.
 Elektrifirmaschine II, 766. Cylindermaschine 766 ff. Reibzeug; Conductor 767 f. Scheibenmaschinen 769 ff. Maschine von Guthbertson 771 f. Maschinen von Pfister und Winter 772. Gewöhnliche Scheibenmaschine 773 f. Glasglockenelektrifirmaschine 774. Funkenmesser 776. Verschiedene andere Einrichtungen 776 f. Art und Weise der Elektricitätsentwicklung durch die Elektrifirmaschine 777 f. Grad der Ladung des Conductors 779. Wirksamkeit einer Elektrifirmaschine 778 f. Gebrauch der Elektrifirmaschine zur Einwirkung auf den menschlichen Körper 779 f.
 Elektrochemische Äquivalente, s. Galvanismus III, 344, Zersetzung, elektrochemische IV, 1038.
 Elektrochemische Polarisation, s. Galvanismus III, 350—357, Strom, elektrischer IV, 187.
 Elektrochemischer Condensator, s. Condensator I, 1014.
 Elektrochemische Zersetzung, s. Zersetzung, elektrochemische VI, 1033.
 Elektrodynamik, s. Elektromagnetismus II, 802.
 Elektrodynamischer Condensator, s. Condensator I, 1013.
 Elektrode, s. Galvanismus III, 316.
 Elektrodynamometer, s. Elektromagnetismus II, 809.
 Elektrolyse, s. Galvanismus III, 334.
 Elektrolyte, s. Galvanismus III, 334.
 Elektrolitische Action, s. Galvanismus III, 344.
 Elektrolitische Bilder, s. Figuren, elektrische III, 198.
 Elektromagnete, s. Elektromagnetismus II, 793 ff., Strom, elektrischer VI, 191.
 Elektromagnetische Rotationen, s. Elektromagnetismus II, 787—793.
 Elektromagnetische Schleife, s. Multiplikator IV, 1126.
 Elektromagnetische Spirale, s. Elektromagnetismus II, 786.
 Elektromagnetische Wage, s. Multiplikator IV, 1132 f.
 Elektromagnetisches Rädchen, s. Elektromagnetismus II, 790.
 Elektromagnetismus II, 781. Grunderscheinungen 781 ff. Kraft, womit der Schließungsdraht auf einen Magnetpol wirkt 783 f. Richtung der magnetischen Kraftäußerung 784. Kreisförmig geboge-

ner Schließungsdraht; Nichtkraft des Erdmagnetismus auf denselben 784 ff. Elektromagnetische Drahtspirale 786. Ampères'sches aëlisches Rechteck 787. Elektromagnetische Rotationserscheinungen 787 ff. Rotation eines Magnets um einen festen Stromleiter 787 f. Rotation eines beweglichen Leitungsdrahtes um einen festen Magneten 788 f. Barlow's Mädchen 790. Rotation eines Magnets um seine Axe 790 f. Elektromagnetische Rotationsbewegung tropfbarer Flüssigkeiten 792. Magnetisiren des Glens durch den elektrischen Leitungsdraht 793 ff. Gesetze über Elektromagnete 794 ff. Joule'scher und Rumford'scher Elektromagnet 797. Spirale von Glas 798. Magnetisiren durch den Strom einer Leidner Flasche 798 f. (s. auch Flasche, elektrische III, 262 f.). Der Elektromagnetismus als bewegende Kraft 799 ff. Michie's Rotationsapparat 800. Jacobi's Versuch auf der Rewa 800 f. Princip von Page 801 f. Einwirkung elektrischer Leiter aufeinander 802 ff. Anziehung und Abstoßung paralleler Schließungsdrähte 802. Apparate von Sturgen und Schweigger 803 f. Wechselwirkung zweier geradliniger Leiter, die einen Winkel miteinander einschließen 804. Wirkung geradliniger Leiter, die sich durchkreuzen 805 f. Wirkung krummliniger Stromleiter 806. Wechselwirkung sich durchkreuzender Stromleiter, die entweder begrenzt oder unbegrenzt sind 806 f. Weber's Elektrodynamometer 809 ff. Theorie der elektromagnetischen Erscheinungen 812—823.

Elektrometer II, 823. Begriffsbestimmung 823. Korkkugelelektroskop 824. Hansly's Quadrantenelektrometer 824 f. Flaschenelektroskop 825. Goldblattelektroskop 826. Barrol's Elektroskop 827 f. Buff's Goldblattelektrometer 828. De Luc's Fundamentalelektrometer 829. Vorrichtungen von Volta; Strohhalmelektrometer 829 f. Marechaur's Mikroelektrometer 830. Elektroskop von Bohnenberger 831 f. Verbesserung desselben durch Fechner 832 f. Elektrometer von Dersted 833. Elektrometer von Dellmann 833 f. Ladungselektrometer von Broock und Adams 835. Vorrichtung von Deimann und Baets von Troostwyk zur Messung der anziehenden und abstoßenden Kraft des Conductors einer Elektrifizirmaschine 836 f. Coulomb's Drehwaage und dessen Versuche damit 837 ff. Gesetze der Abstoßung und Anziehung elektrificirter Körper 840 ff. Benützung der Drehwaage zur Ermittlung des Elektricitätsverlustes isolirender Träger 843 f.

Benützung der Drehwaage zur Ermittlung der Vertheilung der Elektricität auf isolirten Leitern 844 f.

Elektromikrometer (Mikroelektrometer), s. Elektrometer II, 830.

Elektromotoren, s. Galvanismus III, 311.

Elektromotorische Kraft, s. Galvanismus III, 316, Strom, elektrischer VI, 163, 169 ff.

Elektromotorisches Verhältniß, s. Galvanismus III, 311.

Elektronegative Bestandtheile, s. Galvanismus III, 335.

Elektrophor II, 845. Harzelektrophor 845 f. Elektrophore aus Gutta Serena, und aus sogenanntem elektrischem Papier; isolirende Zeuge aus Holzfaser 846. Bereitung des Ruchens aus verschiedenen Harzen 846. Deckel oder Schild des Elektrophors 846 f. Gepresste Elektrophore 847. Große Elektrophore in Göttingen und Wien 847. Wille's Ladungscheibe 847 f. Elektrificiren des Ruchens 848. Erklärung der Erscheinungen des Elektrophors 848 ff. Der Elektrophor als Elektrifizirmaschine 851. Stärke des elektrischen Funken am Elektrophor 851. Erhöhung der Kraft des Elektrophors durch eine geladene Leidner Flasche 851 f. Doppelter Elektrophor Lichtenberg's 852. Weber's Doppellektrophor 852 f.

Elektropositive Bestandtheile, s. Galvanismus III, 335.

Elektroskop, s. Elektrometer II, 823.

Elektrotypen, s. Galvanoplastik III, 383.

Elektrum II, 853.

Elemente, chemische, s. Einfache Körper oder Stoffe II, 596, Verwandtschaft, chemische VI, 557 f.

Elemente (Grundatome der Materie), s. Materie IV, 926 ff, 932 f., 938 ff.

Elemente der Kometen, s. Kometen IV, 333.

Elemententafeln der Planeten, s. Planeten V, 340 ff.

Elementenglas II, 853.

Elevationswinkel, s. Wurfbewegung VI, 1029, Bewegung I, 820.

Elliptische Bahn der Planeten, s. Planeten V, 337.

Elliptische Länge eines Planeten, s. Planeten V, 339.

Elmsfeuer, s. Luftelektricität IV, 705.

Elongation (Ausweichung), s. Planeten V, 332.

Elongationswinkel, s. Pendel V, 161.

Email II, 853.

Emanationssystem (Emanationstheorie) II, 854, Licht IV, 521.

Embolus, s. Kolben (im Register).

Emissionssystem (Emanationssystem) II, 854, Licht IV, 521.
Entgeschwindigkeit, f. Fall der Körper III, 8.
Endomose, f. Exomose und Endomose II, 910.
Englischer Cement, f. Calcium I, 921.
Entfernung, wahre und scheinbare II, 854. — Entfernung eines Gestirnes von der Erde, f. Parallaxe III, 133. Entfernungen der Planeten von der Sonne, f. Planeten V, 344 ff. Bestimmung der Entfernung zweier Orte der Erde aus der bekannten geographischen Länge und Breite, f. Erde II, 899.
Entlader, f. Auflader I, 641.
Entladung, elektrische, f. Flasche, elektrische III, 252 ff., Galvanismus III, 313 f.
Entzündung (Anzünden), f. Feuer III, 144.
Entzündung durch den elektrischen Schlag, f. Flasche, elektrische II, 273. Gewitter III, 573 f.
Evakte II, 854.
Ephemeriden II, 856.
Epipolisiertes Licht, f. Zerstreuung des Lichts VI, 1061.
Äpoche, f. Planeten V, 332.
Äpoche (in der Chronologie), II, 856.
Äpfomer Salz, f. Magnium IV, 867.
Erbium II, 857.
Erdbachse, f. Erde II, 877, 892, 901.
Erdbeben II, 857. Arten der Bewegung 857 f. Erschütterungsfreis; Erschütterungsellipse 858. Rotatorische Bewegung 858 f. Dauer der Erschütterung 859. Ausdehnung der Erdbeben 859. Abhängigkeit von den Jahreszeiten 859 f. Menge der Erdbeben 860 ff. Zusammenhang der Erdbeben mit den Erscheinungen in der Atmosphäre 862 f. Vorzeichen der Erdbeben 863. Erdbeben von Caracas 863 f. Unterirdisches Getöse 864 Zerstörungen durch Erdbeben 865. Ursache der Erdbeben 866 f. — Vergl. Vulkan VI, 601 f., 613 f. — Bezüglich des Einflusses des Mondes auf die Erdbeben, f. Mond IV, 1119.
Erdbebenmesser II, 867.
Erdbeschreibung, f. Geographie III, 508.
Erddurchmesser, f. Erde II, 892.
Erde II, 868. Geschichtliches 868 f. Kugelgestalt der Erde 871 f. Reisen um die Erde 872 f. Pole des Himmels und der Erde; Meridian (Mittagskreise) 873 f. Aequator (Gleicher, Linie); geographische Länge und Breite; Parallellkreise 874. Wendekreise; Zonen (Erdgürtel) 874 f. Gestalt und Größe der Erde 875 ff. Die Erde ein elliptisches Sphäroid 877. Me-

thode von Snellius, das zwischen zwei Beobachtungsorten liegende Stück eines Erdmeridians zu messen 878 f. Abplattung der Erde 881 ff. Bestimmung der Gestalt der Erde durch Pendelbeobachtungen 886 ff. Einfluß der Schwerkraft auf die Gestalt der Erde 890 f. Dimensionen der Erde 892. — Größenbestimmungen in geographischen Meilen 893. Tafel der geographischen Lage verschiedener Orte der Erde 894—899. Berechnung der Entfernung zweier Orte aus der bekannten Breite und Länge 899. — Die Erde als Planet 901 ff. Arendrehung der Erde 901 f. (f. auch Pendel V, 186 f.). Bahn der Erde um die Sonne 906 f. — Dichte der Erde 907 ff. Versuche mit der Drehwaage 908 f. Ablenkung des Bleiloches durch einen Berg 810 f. Bestimmung der Dichte d. Erde aus Pendelbeobachtungen 911 f. Erdrinde 912 ff. Absolute und relative Tiefe 912 f. Oberfläche der Erde 913 ff. Festland der Erde 913 f. Temperatur der Erde in verschiedenen Tiefen 914 ff. Zunahme der Temperatur mit der Tiefe 916 ff. Temperatur der Landseen in der Tiefe 921 f. Temperatur des Meeres 922 ff. Feuerig flüssiger Zustand im Innern der Erde 926. Ursprüngliche Temperatur der Erdrinde 928. Abkühlung; Abkühlungszeit der Erde 928 ff. — Geologie III, 508, 517.
Erden II, 930.
Erderschütterungen, f. Erdbeben II, 857.
Erdferne und Erdnähe II, 930.
Erdfernrohr, f. Fernrohr III, 104.
Erdglobus, f. Himmelskugel III, 803 f., Erde II, 873.
Erdgürtel, f. Erde II, 874 f.
Erdkugel, f. Erde II, 868.
Erdmagnetismus, f. Magnetismus der Erde IV, 808.
Erdmessungen, f. Erde II, 875 ff.
Erdnähe, f. Erdferne und Erdnähe II, 930.
Erdölquellen, f. Quelle V, 563.
Erdpole, f. Erde II, 873.
Erdthermometer (Geothermometer), f. Thermometer VI, 337.
Erdrinde, f. Erde II, 912.
Erdtrombe, f. Wasserhose VI, 792.
Erdwärme, f. Erde II, 914 ff.
Ergänzungsfarben, f. Farbe III, 45.
Erhebung des Meeres, f. Meer IV, 982.
Erhebung (scheinbare) des Meeresspiegels, f. Meer IV, 984.
Erhebungspegel, f. Vulkan VI, 604.
Erhebungskrater, f. Vulkan VI, 604.
Erhebungssysteme, f. Berg I, 797.
Erfaltungsgesetze, f. Wärme VI, 678 ff.

Erleuchtung; Stärke derselben, s. Photometer V, [273 ff.](#), [304 f.](#)
 Erleuchtungsmonate, s. Monat IV, [1104](#).
 Erschütterung begünstigt das Entstehen des Magnetismus, s. Magnetismus IV, [782](#).
 Erschütterung, elektrische, s. Flasche, elektrische III, [270 ff.](#)
 Erster Meridian, s. Meridian IV, [1014 f.](#)
 Erze II, [931](#).
 Essig, s. Essigsäure II, [931](#).
 Essigalkohol, s. Essigsäure II, [933](#)
 Essiggeist, s. Essigsäure II, [933](#).
 Essigsäure, II, [931](#).
 Essigsaures Aethyloxyd, s. Essigsäure II, [933](#).
 Essigsaures Ammoniak, s. Essigsäure II, [932](#).
 Essigsaures Bleioxyd, s. Essigsäure, II, [933](#).
 Essigsaure Salze, s. Essigsäure II, [932](#).
 Eudiometer II, [934](#). Volta'sches Verfahren [934 f.](#) Abänderung desselben durch Döbereiner [935](#). Eudiometer von Bunsen [935](#). Analysen von Gasgemengen mittelst des Eudiometers [937 f.](#) Methoden, nach welchen der Sauerstoffgehalt der Luft durch Wägung bestimmt wird [939 f.](#)
 Eudiometrie, s. Eudiometer II, [934 ff.](#)
 Evaporiren (Evaporation), s. Abdampfen [1, 1](#).
 Evection, s. Mond IV, [112](#).
 Exantliren, s. Luftpumpe IV, [718](#).
 Excentricität, s. Planeten V, [337](#).
 Excentrif, s. Dampfmaschine II, [381](#).
 Exosmose und Endosmose II, [940](#).
 Beobachtung von Parrot und Fischer [940](#).
 Beobachtungen von Magnus [940 f.](#) Beobachtungen von Dutrochet [941 f.](#) Versuche von Jerichau und von Brücke [943](#).
 Versuche von Liebig [943 f.](#) Absorptionsvermögen der Membranen für verschiedene Flüssigkeiten [944](#). Einfluß des specifischen Gewichtes [945](#). Erklärung der endosmotischen Erscheinungen [945 f.](#) Versuche von Bierordt [949](#). Versuche von Jolly [949 f.](#) Endosmotisches Aequivalent [950](#). Versuche Ludwig's [950](#).
 Expansibilität II, [950](#).
 Expansion II, [950](#). Tabelle zur Berechnung der Gasvolumina [952 ff.](#)
 Expansionsdampfmaschine, s. Dampfmaschine II, [267 f.](#), [278, 280, 313, 333 f.](#), [358 f.](#)
 Expansionscentrif, s. Dampfmaschine III, [383](#).
 Experiment, s. Naturwissenschaft V, [28](#), Beobachtung [1, 756](#).
 Explosion gewisser Substanzen, s. Detonation II, [471](#).

Explosion von Dampfkesseln, s. Kessel: Explosion IV, [228](#).
 Fadenscrew, s. Fernrohr III, [118](#).
 Fadenmikrometer, s. Mikrometer IV, [1032](#).
 Fadenney, s. Fernrohr III, [118](#).
 Fahlerz, s. Kupfer IV, [387](#).
 Fällung, Präcipitation III, [1](#). Verschiedene Arten der Fällung [1](#). Pulverige, krystallinische, flockige, käsige, gelatinöse Niederschläge [1 ff.](#) Vier Hauptformen der Niederschläge nach Harting [2](#). — Vgl. Metallaum IV, [1022](#), Amorph I, [181](#).
 Fällungsmittel, s. Fällung III, [1](#).
 Fäulniß III, [2](#). Verwesung [3](#). Vermoderung [3](#). Bedingungen der Verwesung und Fäulniß [3](#). Fäulniß stickstoffhaltiger und stickstofffreier Körper [4](#). Verwesung stickstofffreier Körper [4](#). Antiseptische oder fäulnißwidrige Mittel [4](#) (s. auch Kohlenstoff IV, [298 f.](#)). Appert'sche Methode, Nahrungsmittel aufzubewahren [5](#). Conservation von Leichen [5](#). — Vergl. Gährung III, [300](#).
 Fagott, s. Ton VI, [432](#).
 Fahrloch, s. Dampfmaschine II, [338](#).
 Fahrräder bei Locomotiven, s. Locomotive IV, [584, 599](#).
 Fall der Körper III, [5](#). Falllinie [6](#) (s. Schwere V, [793 f.](#)). Freier Fall [6–11](#). Fall auf vorgeschriebenem Wege [11](#). A. Auf einer schiefen Ebene [11](#) (s. Ebene, schiefe II, [585](#)). B. In einem Kreisbogen [14](#) (s. Pendel V, [160 ff.](#)). C. In der Cycloide [16](#). Tautochronische und brachyochronische Linie [17](#). — Schwere V, [792](#).
 Fallgesetze, s. Fall der Körper III, [6 ff.](#), Bewegung [1, 813, 814, 822, 825](#). — Schwere V, [792](#). — Erde II, [902](#).
 Falllinie, s. Fall der Körper III, [6](#), Schwere V, [793 f.](#)
 Fallmaschine III, [17](#). Vergl. auch Strom, elektrischer VI, [197 f.](#)
 Fallraum (Fallweg), s. Bewegung [1, 813](#), Fall der Körper III, [7](#).
 Fallschirm III, [20](#). Versuche von La Morsmand, Montgolfier, Blanchard, Garnierin, Robertson [21](#). Bewegung des Fallschirmes [22](#). Anwendung des Fallschirmes bei Leuchtraketen [23](#). Fallschirmbildung bei Pflanzen [23](#).
 Fallversuche, s. Fall der Körper III, [6, 9](#), Fallmaschine III, [17](#), Erde II, [902](#).
 Fallzeit, s. Bewegung [1, 813 f.](#), Fall der Körper III, [9](#), Fallmaschine III, [18](#); Strom, elektrischer VI, [198](#).
 Falschsehen, das, s. Sinne V, [939](#).
 Falschtöne, s. Stimme III, [135 ff.](#)
 Farbe III, [23](#). Zerlegung des weißen Sons-

nenlichtes in verschiedene Farbstrahlen 23 (f. auch Brechbarkeit I, 866). Fraunhofer'sche dunkle Linien 24 f. Linien im Farbenbild des elektrischen Lichtes 25. Homogenes Licht 23 f. Veränderlichkeit des Spektrum des Sonnenlichtes mit dem Stande der Sonne und dem Zustande der Atmosphäre 26. Dunkle Linien, wenn das Licht durch Gasdämpfe geht 26. Die einzelnen Farben des prismatischen Sonnenbildes nach der Größe des einzelnen Raumes, den sie einnehmen, und nach ihrer Lichtstärke 27—29. Wiederherstellung des durch das Prisma in verschiedenfarbige Strahlen zerlegten Sonnenlichtes 29, 30. Newton's empirische Regel zur Ermittlung der Farbe, welche aus einer Vermischung einfacher Strahlen von gegebener Art und in gegebenem Verhältniß hervorgehen muß 30 f. Newton's sieben Spectralfarben 32. Brewster's Ansicht von der Zusammensetzung des Sonnenlichtes aus drei Grundfarben 33—34. Untersuchungen von Helmholtz über die Mischfarben, welche durch das Zusammenfallen verschiedener prismatischer Farben erzeugt werden 34 f. Farbkreis 36. Busolt's Farbkreis 37. Grüel's Apparat 38. Mayer's Farbdreieck 38. Runge's Farbkugel 39. Complementairs oder Ergänzungsfarben 39. Natürliche Farben der Körper 40. Intensität des von farbigen Körpern reflectirten Lichtes 41. Farben durchsichtiger Körper 42 f. Katoptische, paroptische, epoptische Farben 44. Subjective (zufällige, physiologische) Farben 44—56. Farbige Schatten 52 ff. — Abklingen der Farben f. Sehen V, 843. — Vergl. Art. Sinne V, 934 ff., 943. Farbe des elektrischen Funkens, f. Funke, elektrischer III, 291, 292. Farbe des Himmels, f. Himmel III, 800. Farbe des Meeres, f. Meer IV, 993 f., Wasser VI, 828. Farbe der Seen, f. Seen V, 824, Wasser VI, 828. Farbdreieck, f. Farbe III, 38. Farben dünner Plättchen, f. Farbenringe III, 56. Farben dicker Platten, f. Farbenringe III, 86. Farben durch Brechung des Lichtes, f. Brechbarkeit I, 866, Farbe III, 23. Farben durch Inflexion des Lichtes, f. Inflexion des Lichtes IV, 57 ff., 67. Farben der Interferenz, f. Inflexion des Lichtes IV, 57 ff., 67 (Interferenz IV, 109—114), Farbenringe III, 56, Polarisation des Lichtes V, 437.

Farbenercheinungen des polarisirten Lichtes, f. Polarisation des Lichtes V, 437 ff. Polarisationfarben in gekühlten und gepreßten Gläsern ebenda 434. Farbenercheinungen durch reflectirtes und absorbirtes Licht, f. Farbe 40 f., Zerstreuung des Lichtes VI, 1059 ff. Farbenercheinungen beim Glühen der Körper, f. Wärme VI, 638 f. Farbenklavier, f. Sehen V, 849. Farbkreis, f. Farbe III, 36 f. Farbkugel, f. Farbe III, 39. Farbenpyramide (Farbdreieck), f. Farbe III, 38. Farbenringe Newton's III, 56. Darstellung der Erscheinung 56—60. Gyreidofsky, Gyreidometer 58. Messung der Ringe durch Newton 60. Tafel über die Dicke eines Plättchens aus Luft, Wasser und Glas, in Milliontheilen eines englischen Zolles für die reflectirten Strahlen 63 f. Ringe im homogenen Lichte 63. Tafel über die Dicken der Luftschicht, in welchen die verschiedenen Ringe anfangen und aufhören, ausgedrückt in Milliontheilen eines englischen Zolles 67. Darstellung der Resultate dieser Tabelle durch geometrische Construction 68—70. Ringe im durchgelassenen Lichte 71. Erklärung der Farbenringe, nach Hooke 71, nach Newton 72, nach der Undulationstheorie (des Lichtes) 73, 75—85. — Andere Art von Farbenringen 85. Farben dicker Platten 86. Farbenringe bei einaxigen Krystallen, f. Polarisation des Lichtes V, 448. Farbenringe bei zweiaxigen Krystallen, f. Polarisation des Lichtes V, 450 f. Farbenringe Löwe's, f. Sinne V, 942. Farbenringe Nobili's III, 87—94. Farbenringe Priestley's III, 94. Farbenscheibe, f. Farbe III, 36, 37. Farbenspektrum, f. Farbe III, 23, Brechbarkeit I, 866 ff. Farbstreifen, elektrische, f. Figuren, elektrische III, 198. Farbenunterschied der Fixsterne, f. Fixsterne III, 220. Farbenwechsel des Stahles, f. Eisen II, 627. Farbenzerstreuung, f. Brechbarkeit I, 866 bis 872, Farbe III, 23, Licht IV, 523. Farbige Flammen, f. Flamme III, 242. Farbige Ringe, f. Farbenringe. Farbige Glas, f. Glas III, 612. Faserige krystallinische Masse, f. Krystall IV, 383. Faserhaut, f. Sinne V, 914. Faserstoff, animalischer, f. Fibrin III, 192.

Fata Morgana, s. Luftspiegelungen IV, 740.
Fatiscciren (Verwittern), s. Kry stall IV, 337, Verwitterung VI, 381.
Feder-Dynamometer, s. Kraftmesser IV, 341.
Federharz, s. Kautschuk IV, 210.
Federkraft, s. Elasticität II.
Federwagen, s. Kraftmesser IV, 341, Wage VI, 786.
Federwolken, s. Wolken VI, 1017.
Fehler bei Beobachtungen, s. Beobachtung I, 736 ff.
Fehler der Augen, s. Sinne V, 937.
Feilen, Lichterscheinung dabei, s. Licht IV, 484.
Feinbrennen, s. Abtreiben I, 46.
Feintliche Pole, s. Magnetismus IV, 746.
Feldspathgesteine, s. Berg I, 782.
Feldspathlaven, s. Vulkan VI, 612.
Felschuttlinie, s. Gletscher III, 622.
Fensterglas, s. Glas III, 610, farbenspiegelndes 612, Adhäsion I, 111 f.
Ferment, s. Gährung III, 300.
Fernglas, s. Fernrohr III, 96.
Fernpunkt beim Sehen, s. V, 833.
Fernrohr III, 96. Katoptrische, dioptrische 97. Ocular und Objectiv des Fernrohrs 97. Geschichtliches in Beziehung auf die Erfindung des Fernrohrs 96—100. Dioptrische Fernröhre 100—103. Arc des Fernrohrs 100. Centrirtes Fernrohr 100, 118. Apertur, Blendungen (Diaphragmen) 100, 118 (Linsenglas IV, 363). Die Gläser des dioptrischen Fernrohrs 101—102. Holländisches oder Waileisches Fernrohr 102. Astronomisches Fernrohr 103. Erdfernrohr 104. Katoptrische Fernröhre 103—108. Newton'sches Fernrohr 103. Gregory'sches Fernrohr 106. Cassagrain'sches Fernrohr 107. Herschel'sches Fernrohr 107. — Geschichtliches in Bezug auf die Vervollkommenung der Fernröhre 108 (s. auch Linsenglas IV, 374 f.). Vorzüge der achromatischen Fernröhre 111. Riesens Fernrohr, 112. Dialytisches Fernrohr 113. Aplanatisches Fernrohr 113. Brewster's Teinoskop 116. Verkürzung des astronomischen Fernrohrs 116. Kometensucher 117. Dove's Reversionsprisma und terrestrisches Prismenocular 117. Pankratistische Oculare 117. Fadenkreuze 118. Aufstellung der Fernröhre 118. Grad der Vollkommenheit eines Fernrohrs: Vergrößerung, Deutlichkeit und Helligkeit des Bildes, Größe des Gesichtsfeldes 119. Prüfung des Fernrohrs 119. Vergrößerungszahl eines Fernrohrs 120. Ermittlung des Gesichtsfeldes 121. Reinigung des

flaubter Linsen 121 f. — In Rücksicht der Wirkung der Linsengläser bei den dioptrischen Fernröhren ist zu vergleichen Art. Linsenglas IV, 343, 357, 363, und in Rücksicht der katoptrischen Fernröhre Art. Spiegel VI, 46, 80, 52. — Bezüglich der Mikrometer, die man an Fernröhren anzubringen pflegt, vergl. Art. Mikrometer IV, 1032.

Fernsichtig (weitsichtig), s. Sehen V, 833, Sinne V, 937.

Ferrochankalium, s. Kalium IV, 209.

Feste Faserhaut, s. Sinne V, 914.

Feste Fette, s. Fette III, 141.

Festigkeit III, 122. Absolute, relative, rückwirkende, drehende 122. Absolute Festigkeit 122—127. Widerstände beim Reißen 123. Festigkeit von Metalllegierungen 124, von verschiedenen Glasarten 123. Trag- und Festigkeitsmodule verschiedener Stoffe 126. Festigkeit der Hölzer 127. Relative Festigkeit 127. Körper von gleichem Widerstande 130. Relative Festigkeit hohler schmiedeeiserner Träger 130. Resultate aus Experimenten mit cylindrischen Röhren; Resultate aus Experimenten mit elliptischen Röhren 133. Resultate aus Experimenten mit rechteckigen Röhren 134. Festigkeit von Nietungen 135. Festigkeit gußeiserner Brückenträger 136. Rückwirkende Festigkeit 136. Rückwirkende Festigkeit verschiedener Körper 137. Versuche von Karsten mit Roheisen, Versuche von Rennie mit Holzarten, Steinen 137. Versuche mit Metallen 138. Drehende (Torsions-)Festigkeit, s. Torsion VI, 533. — Elasticität II, 682 ff. Linie, elastische IV, 527. Festlande (Continente), s. Erde II, 913, Meer IV, 979.

Fette III, 139.

Fette zur Verseifung, s. VI, 514.

Fetter Kalk, s. Calcium I, 920.

Fette Oele, s. Fette III, 140.

Fettsäuren, s. Fette III, 139, 141, VI, 513 ff.

Feuchtigkeit der Atmosphäre, s. Atmosphäre I, 337 ff. Absolute und relative Feuchtigkeit (Dampfmenge) 349. Variationen des Feuchtigkeitszustandes der Luft 349—358. Feuchtigkeit der Luft in der Höhe 359. — Vergl. Klima IV, 263, Regen V, 382 ff., 389, 601, 603, 603 ff.

Feuchtigkeiten des Auges, s. Sinne V, 917.

Feuchtigkeitsmesser, s. Hygrometer III, 886.

Feuer III, 141. Lebhafteste Unterhaltung des Feuers 142. Gebläse, Schornsteine (Öfen) 143. Anzünden 144. Feuerlöschungsmittel 143—146. — Flamme III, 236, Verbrennung VI, 471.

Feuerbrunnen (Feuerquellen) f. Gasse-
leuchtung III, 429 f., Quelle V, 553 f.
Feuerberg, f. Vulkan VI, 601.
Feuerfontaine, f. Springbrunnen VI, 66 f.
Feuerfontänen (Feuerbrunnen), f. Gas-
beleuchtung III, 429 f.
Feuerherd, f. Heizung III, 739.
Feuerkugel III, 146. Sternschnuppen; Be-
schreibung des Meteor 137. Höhe desselben
148, scheinbarer Ort 149, Entfernung 150.
Farbe der Sternschnuppen 150. Größe des-
selben 151. Sternschnuppen im November
151. November-Periode 152. August-Peri-
ode 152. Spontane Sternschnuppen 153.
Wahrscheinliche Ursache der Periodicität 153
f. Schilderung großartiger Sternschnup-
penerscheinungen 155—162. — Meteor-
steine, Meteorolithe, Mondsteine
162. Beschreibung einiger interessanter
Erscheinungen 162—165. Meteorstein-
fälle 165. Meteorische Massenmaße 167.
Beschaffenheit der Meteorsteine 168; Me-
teorstein-Analysen 171. Meteorreihen und
Meteorsteine sind zu unterscheiden 172.
Verschiedene Ansichten über den Ursprung
der Meteorformen 168, 172—180. Bil-
dung in der atmosphärischen Luft aus mi-
neralischen Dämpfen und dergl. 172 ff.,
Auswürflinge der Mondvulkane 174; kos-
mischer Ursprung der Meteorformen 176.
— Erwähnung einer früheren Ansicht, nach
welcher die Sternschnuppen aus schleimigen
Maffen bestehen sollten 179 (f. Verri-
ter IV, 140 f.) — Wilmannsdörfer'sche
Figuren 180.
Feuerkammer bei Locomotiven, f. Loco-
motive IV, 585.
Feuerlöschungsmitte, f. Feuer III, 143 bis
146.
Feuerluft, f. Sauerstoff V, 691.
Feuermaschine, f. Dampfmaschine II, 240.
Feuerprobe, f. Wärme VI, 207 f.
Feuerquellen (Feuerbrunnen) f. Gasbe-
leuchtung III, 429 u. Quelle V, 553.
Feuerraum, f. Heizung III, 740.
Feuerreißende Berge, f. Vulkane VI, 601.
Feuerrihre, f. Ströme VI, 88.
Feuerstein III, 180.
Feuerzeug III, 181. Feuerzeug mit Stahl
und Stein 182. Chemisches Feuerzeug
182. Phosphorfeuerzeug 182. Pneumatisches Feuerzeug (Lachophyon) 183.
Elektrisches Feuerzeug 184. Döbereiner's
Platin-Feuermaschine 187. Einrichtung
derselben nach Hofe 191. Feuerzeug durch
Streichen, Streichhölzchen 191. Streich-
hölzchen mit Chloräurem-Kali 191. Phos-
phorstreichhölzchen 192 (f. auch Phos-

phor V, 218 f.) — Brennglas I, 506,
Brennspiegel I, 210.
Feuriger Schwaden, f. Kohlenstoff IV, 310.
Fibrin III, 192.
Fibroin, f. Fibrin III, 193.
Figurabilität III, 193.
Figuren, elektrische III, 193. Unters-
cheidung zwischen elektrischen Figuren und
elektrischen Bildern 193. Primäre und
sekundäre elektrische Figuren 193. Primäre
elektrische Figuren 194. Staubbilder 194.
Sekundäre elektrische Figuren oder Zeich-
nungen 195. Hauchfiguren und Hauch-
bilder 196. Elektrische Farbenreihen 198.
Briestley'sche Ringe 198 (f. Farben-
ringe Briestley's III, 94). Elektro-
lytische Bilder 198.
Filar-Sonnen, f. Meridian IV, 1014.
Filtrixen III, 199. Filtrum, Filtrirpapier
199. Glattes und gefaltetes Filtrum 200.
Epigruel, Trichter 200 f. Verschiedene
Vorrichtungen 201—204. — Kohlen-
stoff IV, 207 ff.
Firnsterne (Mond- und Sonnenfinsternisse),
f. Mond IV, 1113—1116, Sonnenfinsternisse VI, 25.
Firnament, f. Himmel III, 794.
Firn, f. Gletscher III, 614.
Firnig III, 203.
Firnbeinhgrometer, f. Hygrometer III,
910.
Fische, elektrische III, 207. Richtung
des elektrischen Stromes bei dem Gymnolus
208. Effekte desselben 208 f. Elektrisches
Organ des Bitterrothens 210. Verrich-
tungen des elektrischen Organs 211. Lage
des elektrischen Organs beim Bitteraal
212 f. — Thierische Elektricität
VI, 343, 346.
Fischregen, f. Regen V, 613.
Fischthran, f. Fette III, 141.
Fischstimme, f. Stimme VI, 135 f.
Firnsterne III, 215. Glanz 217. Firnsterne
verschiedener Größe 217 f. Messungen der
Lichtstärke 218 f. Farbenunterschied der
Firnsterne 220. Veränderlichkeit mehrerer
Sterne nach Glanz und Größe 221. Ta-
belle über die veränderlichen Sterne 223
bis 228. Plötzliches Sichtbarwerden und
Wiederverschwinden sogen. neuer Sterne
226. Erklärungsversuche der periodischen
Veränderlichkeit 228—231. Eigene
Bewegung der Firnsterne 231 f. Parallaxe
der Firnsterne 233. Bestimmung der Pa-
rallaxe der Doppelfirne aus der Geschwin-
digkeit des Lichtes 235. Allgemeines Be-
wegungscenrum 235 f. — Milchstraße
IV, 1073, Nebelstraße V, 43, Sterne
VI, 112.

Fläche unveränderlicher Temperatur innerhalb der Erde, s. Erde II, 914 f.

Flächenanziehung (Adhäsion), s. Adhäsion I, 110.

Flächenmaß, s. Maß IV, 891—912.

Flächenmikrometer, s. Mikrometer IV, 1038.

Flageoletttöne (harmonische Töne) s. Ton VI, 394.

Flamme III, 236. Flammenraum 236.

Verschiedene Theile der Flamme 237.

Schleier der Lichtflamme, Flammenknospe 238.

Hülle der Knospe 239. Gaskern,

innerster Gaskegel des Flammenkernes 239.

Innere und äußere Ringe der Flamme. In

der vollständig entwickelten Flamme lassen

sich nach Volger 6 Theile unterscheiden 239.

Löthrohrflamme 240 (s. auch Löthrohr

IV, 663). Weitere Betrachtungen über

die Lichtflamme, namentlich auch über die

Zusammensetzung der in ihr in verschiede-

nen Höhen enthaltenen Gase siehe im Art.

Verbrennung VI, 478—481. — Leuch-

ten der Flamme III, 240. Davy's Sicher-

heitlampe 241 (s. auch Sicherheits-

lampe VI, 839). Aldini's Sicherheits-

panzer 241. Compression der Gase scheint

das Helleuchten der Flamme zu befördern

241. Farbige Flammen 242—244. Elek-

trische Eigenschaften der Flamme 244

(s. auch Leiter der Elektrizität IV,

434—438). Diamagnetische Eigenschaften

der Flamme 244 (s. Magnetismus IV,

792).

Flammofen, s. Schmelzen V, 741.

Flasche, elektrische (Kleist'sche, Leyd-

ner's, (Leidner's), Ladungs-, Verstärkungs-

flasche) III, 245. Einrichtung derselben

245—249. Elektrische Batterie 250.

Gascadenbatterie 250. Grenze der Ladung

251. Zweiter Entladungsschlag einer Flasche

(Elektrischer Rückstand) 252 f. Schlagweite

der elektrischen Batterie 253. Hauptschlag-

weite 253. Funkenmikrometer 255. Elek-

tricitätsmengen bei bestimmter Schlagweite

255. Abhängigkeit der Schlagweite von

der Beschaffenheit des luftförmigen Me-

diums 256. Der Ladungsstrom identisch

mit dem Entladungsstrom 257. Gascaden-

ströme 258. Flaschensäule 259. Entla-

dungszeit der elektrischen Batterie 260.

Verzögerungskraft der Körper 262. —

Wirkungen der Entladung der Batterie

262—275. Magnetische Wirkungen

der Entladung 262—268. Mechanische

Wirkung auf luftförmige Isolatoren

269, auf feste Isolatoren 269, in Flüssig-

keiten 270, auf gute Leiter 270. Mecha-

nische Wirkung, die ein im Schließungs-

bogen angebrachter dünner Draht durch

Steigerung der Entladung erfährt 270 f.

Chemische Wirkung des Entladungs-

schlages 271—274. Verbindungen oder

Zerlegungen durch die elektrische Entladung

272. Zerlegung von Flüssigkeiten 272 f.

Bildung von Salpetersäure in der Luft 273

(s. auch Stickstoff VI, 126). Bildung

von Ozon 273 (s. weiteres im Art. Ozon

V, 101). Veränderung der Gase durch

den elektrischen Schlag 273. Wirkung des

Funkens auf entzündliche Gase 273. Elek-

trolyse 273 (s. Galvanismus III, 358

bis 361). Physiologische Wirkung der

Entladung 274. Geschichtliche Notizen

275. — Strom, elektrischer VI, 189

(Anmerkung), 191 ff.

Flaschenbarometer, s. Barometer I, 636.

Flaschenelektroskop, s. Elektrometer II,

823.

Flaschenlampe, s. Lampe IV, 409.

Flaschensäule, s. Flasche, elektrische III,

259.

Flaschenthermometer, s. Thermometer VI,

293.

Flaschenzug, s. Rolle V, 645.

Fleck, Mariette'scher, s. Sinne V, 924 f.

Flecken auf der menschlichen Haut, vom Blitz-

schlage bewirkt, s. Gewitter III, 576.

Fleckseife, s. Verseifung VI, 530 f.

Fliegen III, 276. Mechanik des Fliegens

276 f., 282. Bau der Vögel 278 ff.

Vorwärtsbewegung mittelst der Flügel 282.

Mechanismus der verschiedenen Wendungen

282 f. Höhe des Fluges, Geschwindigkeit

283. Flug der Insekten 283 f.

Fliegende Rüden, s. Sinne V, 940.

Fliegengift, s. Arsenik I, 358.

Fließen, s. Bewegung des Wassers I,

847, Ausfluß des Wassers und der

Luft I, 623, Flüssigkeit III, 284.

Flintglas, s. Glas III, 611.

Flöte, s. Ton VI, 431.

Flötenwerk, s. Ton VI, 410.

Flossen, s. Eisen II, 623.

Flüchtige Oele, s. Aetherisches Oel I,

124.

Flüchtiges Alkali, s. Ammoniak I, 143.

Flügel, s. Fliegen III, 276, 279 ff.

Flügel (hydrometrischer) Woltmann's, s. An-

moskop I, 199 ff., Ströme VI, 153.

Flügelbeden, s. Fliegen III, 284.

Flügel Schlag, s. Fliegen III, 276, 280.

Flüsse, s. Ströme VI, 153.

Flüssige Fette, s. Fette III, 141.

Flüssigkeit III, 284. Aggregat I,

126, Figurabilität I, 193, Dampf

II, 20, Gas III, 410, Materie IV,

946 f., Wärme VI, 756 f. — Aus-

fluß des Wassers und der Luft I, 623, Bewegung des Wassers in Canälen und Flüssen I, 847 (f. auch Abzweigungen V, 639), Mechanik der Flüssigkeiten IV, 933, Statistropfbar flüssiger Körper VI, 85, Zusammenbrüchbarkeit tropfbar flüssiger Körper VI, 1109 ff. — Quellen V, 547, Ströme VI, 153, Meer IV, 979.

Flüssigkeitshäuten, f. Cohäsion I, 978.

Flüssigkeitsmaße, f. Maß 891 ff., 910.

Flüssigwerden, f. Aggregat I, 127, Wärme VI, 700 ff.

Flugmaschine III, 286.

Flugrädchen, elektrisches III, 288.

Fluidität, f. Gas III, 412.

Fluidum, elektrisches, f. Electricität II, 724 ff. Funke, elektr. III, 291, 295, Galvanismus III, 366, Magnetismus IV, 801 (f. auch Elektromagnetismus II, 817 ff.), Leiter der Electricität 462 ff., Luftelectricität IV, 698, insbesondere auch Wärme VI, 702 ff., 704 ff.

Fluor, Fluorine III, 289.

Fluorarsenit, f. Arsenit I, 360.

Fluorbor, f. Fluor III, 290.

Fluorcalium, f. Calcium I, 922.

Fluoreszenz, f. Brechung des Lichtes VI, 1059 ff.

Fluormetalle, f. Fluor III, 290.

Fluorine, f. Fluor III, 290.

Fluorwasserstoff, f. Fluor III, 290.

Fluoryttrium, f. Yttrium VI, 1038.

Flußsäure, f. Fluor III, 290.

Flußsystem, f. Ströme VI, 153.

Fluth, f. Ebbe und Fluth II, 573 f.

Focus, f. Brennpunkt I, 909.

Folge der Zeichen in der Kluft, f. Thierkreis VI, 336.

Folgepunkte am Magnet, f. Magnetismus IV, 748.

Glie zu Spiegeln, f. Spiegel VI, 42, 44f.

Gontainen, f. Springbrunnen VI, 65.

Gontainen, intermittierende, f. Springbrunnen VI, 66.

Form des Electrophors, f. Electrophor II, 845.

Formeln, chemische, f. Verwandtschaft, chemische VI, 560—574; empirische und rationale 563.

Fortificationsacht, f. Achat I, 101.

Foßle Garge, f. Garge III, 704.

Fossilien (Petrofacten), f. Geologie III, 515, Mineral IV, 1075.

Frankenstein'sche Solarlampe, f. Lampe IV, 413.

Frankfurter Schwarz, f. Kohlenstoff IV, 292.

Franklin'sche Röhre, f. Wasserhammer VI, 791.

Franklin'sche Tafel, f. Tafel, elektrisch VI, 207.

Franklin'sches Maß, f. Maß IV, 897 ff., 901, 902, 907.

Freie Bewegung, f. Mechanik IV, 933.

Freundt'sche Pole, f. Magnetismus IV, 746.

Fresco-Malereien in indischen Grotten, f. Höhlen III, 846 f.

Friction, f. Reibung V, 627 ff.

Frictions- (Reibungs-) Electricität, f. Electricität II, 717, 745 f.

Frictionlicht, f. Licht IV, 483 ff.

Frictionrollen (Frictionräder), f. Reibung V, 633.

Frischblei, f. Blei I, 852.

Frische des Wassers, f. Quelle V, 561, Wasserstoff VI, 833.

Frischen des Eisens, f. Eisen II, 624.

Frischkohl, f. Eisen II, 626.

Froschpräparat, f. Galvanismus III, 312, 364, Thierische Electricität VI, 344 ff.

Froschregen, f. Regen V, 613.

Froschkrem, f. Thierische Electricität VI, 345.

Frost, f. Eis II, 600 ff., Reif V, 636, Wärme VI, 615.

Frostdampf, f. Frohnebel (im Register).

Frostmischungen, f. Kältemischung IV, 174.

Frohnebel, f. Nebel V, 39.

Fruchtmaße, f. Maß IV, 910.

Fruchtregen, f. Regen V, 614.

Frühling, f. Jahreszeiten IV, 6.

Frühlingsnachtgleiche (Frühlingäquinocium) f. Nachtgleichen V, 4.

Frühlingsnachtgleichenpunkt, f. Nachtgleichen V, 4 f.

Fünffach-Schwefelantimon, f. Antimon I, 238.

Fünffach-Schwefelcalcium, f. Calcium I, 921.

Fuhrmannswinde, f. Adlerwerf V, 579.

Fulgurit, f. Blitzröhren I, 860.

Fulminantensäure, f. Silber V, 884.

Fulminate, f. Kohlenstoff IV, 318.

Fumarolen, f. Vulkan VI, 604.

Fundamentalabstand des Thermometers, f. Thermometer VI, 296.

Fundamentalelektrometer, f. Elektrometer II, 829.

Fundamentalfunkte des Thermometers, siehe Thermometer VI, 296.

Fundamentalversuche Volta's, s. **Galvanismus** III, 304 ff., 306, 311, 312.

Funke, elektrischer III, 291. Farbe des Funkens 291, 292 f. Elektrisches Licht im luftverdünnten Raume 292, in verschiedenen Gasen und Dämpfen 292. Spectrum des elektrischen Funkens 293. Elektrischer Funke in tropfbaren Flüssigkeiten. Dauer des elektrischen Funkens 294 (Art. Elektrizität II, 738, Flasche, elektrische III, 260 f.). Theoretische Ansicht 295; Lichtenberg'sche Figuren 296, Staubbilder 297. Mechanische Wirkung des elektrischen Funkens 297; Eullin'scher Versuch 298 (bezüglich der mechanischen und sonstigen Wirkungen des elektrischen Funkens ist zu vergleichen Flasche, elektrische III, 262, 268 ff.). — Funkenerscheinung der galvanischen Elektrizität, s. **Galvanismus** III, 319, Strom, elektrischer VI, 189. Funkenerscheinung der Inductionselektrizität, s. Induction, elektrische IV, 18 ff., Magnetoelektrizität IV, 843 ff. Funkenerscheinung der Thermo-elektrizität, s. Thermo-elektrizität VI, 283. Funkenerscheinung beim Stöße der Körper, s. Elektrizität II, 782, bei der Kryallbildung ebenda 785, beim Gefrieren des Wassers ebenda 785.

Funkeln der Sterne, s. **Fixsterne** III, 216.

Funkenmesser, s. **Funke**, elektrischer III, 294.

Funkenmikrometer, s. **Flasche, elektrische**, III, 255.

Furken, s. **Berg I**, 779.

Fuselöle III, 299, **Weingeist** VI, 867, 870, 872.

Fuß, s. **Maß** IV, 891, 894, 896, 901, 907.

Fuß einer tönenden Röhre (Pfeife), s. **Ton** VI, 410.

Fußpunkt, s. **Scheitel** V, 714.

Gabbro, s. **Berg I**, 783.

Gabelbeine, s. **Fliegen** III, 279.

Gabelschwanz, s. **Fliegen** III, 279.

Gährung III, 300. **Weingährung** 300. **Ferment** 300. **Hefezellen** 301. **Schleimige Gährung** 302. **Zuckergährung** 302. **Milchsäuregährung** 302. **Buttersäuregährung** 303.

Gänge, s. **Geologie** III, 813, **Berg I**, 794.

Gänse oder Gänze, s. **Eisen** II, 623.

Galaktometer, s. **Aräometer** I, 278.

Gallipot, s. **Garze** III, 699.

Gallipstein III, 303, **Zink** VI, 1089.

Galläpfel III, 303, **levantische**, **schwarze**, **weiße** 303. **Galläpfeltinctur** 303.

Gallussäure III, 303, **Brenzgalussäure** (**Pyrogallussäure**) 304. **Metagalussäure** (**Gallhuminsäure**) 304. **Nothgalussäure** 304. **Blaugallussäure** 304.

Galmei (**Galmei**) III, 304, **Zink** VI, 1082, 1089 f.

Galvanisch registrierende Nhren, s. **Passageninstrument** V, 146.

Galvanische Elektrizität, s. **Galvanismus** (im Reg.)

Galvanische Spannungsreihe, s. **Spannungsreihe**, **galvanische** VI, 34.

Galvanismus, **galvani'sche**, **volta'sche**, **Verührungs-** oder **Contact-Elektrizität** III, 304. **Fundamentalversuche** 305—308. **Spannungsreihe**, **elektrische** (**galvanische**) 308 (s. **Spannungsreihe**, **galvanische** VI, 34). **Elektrizität durch den Contact tropfbarer Flüssigkeiten mit Metallen** 309. **Elektrizität durch den Contact von Metallen mit Gasarten** 310. **Elektrizität durch die gegenseitige Verührung tropfbarer Flüssigkeiten** 311. **Elektromotor**, **elektromotorisches Verhältniß** 311. **Geschichtliches** 311. **Versuche mit dem präparirten Frosche** 312. **Volta'sche Säule oder Batterie** 313—315. **Pole der Säule**, **positiver** und **negativer** 315. **Identität der Contact- und Reibungselektrizität** 315. **Elektrischer Strom** 315. **Elektromotorische Kraft** 316. **Richtung des Stromes**. **Elektroden** 316. **Stärke des elektrischen Stromes** 316 (s. **Strom**, **elektrischer** VI, 182). **Einfache volta'sche oder galvanische Kette** 316. **Schließungs-**, **Verbindungsdraht** oder **Schließungsbogen** 317. **Konstante Ketten von Daniell, Becquerel, Grove und Bunsen** 317 (s. **Säule**, **elektrische**, **galvanische**, **volta'sche** V, 648). **Hydro-elektrische Kette**, **jambonische** (**trockne**) **Säulen** 317 (s. **Säule**, **elektrische** VI, 666 ff.). **Gasbatterien oder Gasäulen** 318 (s. **Säule**, **elektrische** VI, 661 bis 666). — **Wirkungen galvanischer Ströme** 318. **Mechanische Wirkungen** 318. **Funkenerscheinung**, **Schließungsfunke**, **Trennungsfunke** 319 (s. **Strom**, **elektrischer** VI, 189). **Wärmeerregung des galvanischen Stromes** 319 (s. **Strom**, **elektrischer** VI, 191, 193 ff.). **Lichteffecte des galvanischen Stromes** 320. **Volta'scher Lichtbogen** 321. **Magnetische Eigenschaften des Lichtbogens** 321, 322. **Lichtbogen zwischen zwei Metallspitzen** oder **zwischen einer Metallspitze und einer Metallplatte** 323. **De la Rive's Versuche**

über den Einfluß des Magnetismus auf den Volta'schen Bogen 325. Geräusche bei der Ausbildung des Lichtbogens unter gewissen Umständen 325—327. Töne, welche der galvanische Strom unter gewissen Umständen in Metalldrähten erzeugt 327—328 (s. Magnetismus IV, 782 ff.). Auslockerung und Fortführung (Transport) von Theilchen zwischen Kohlen- oder Metallspitzen 320, 321, 323, 324. Reechisches Lichtphänomen 328 bis 331. Wärmeerregung vorzugsweise von der positiven Seite her 329 (s. auch Strom, elektrischer VI, 197). Chemische Wirkungen des galvanischen Stromes 331—338. Zerlegung chemischer Verbindungen: Oxide, Chlor- und Brommetalle, Salze 332. Zerlegung der Alkalien und alkalischen Salze 333. Primäre und secundäre Zerlegungen 334. Elektrolyse, Elektrolyse, Elektroden 334. Anode, Kathode, Zonen, Anten, Ration 335. Elektronegative und elektropositive Bestandtheile 335. Zerlegungszelle 334. Elektrochemische Erscheinungen einfacher Ketten 335. Schutz eines Metalles vor dem chemischen Einfluß 336; Schutz der kupfernen Beschläge der Schiffe durch Zink oder Eisen (s. Kupfer IV, 392), und der eisernen Siedefannen durch Zink 336. Darstellung chemischer Verbindungen im festhallirten Zustande durch Elektrolyse 337. Quantitative Beziehung zwischen galvanischem Strom und elektrochemischem Proceß 339. Voltameter 339, verbessertes von Poggendorf 340. Die Menge der zerlegten Flüssigkeit ist der durchfließenden Elektrizitätsmenge proportional 342. Die Wasserzerlegung ist der durch das Galvanometer gemessenen Stärke der Ströme proportional 343. Gesetz der bestimmten oder festen elektrolytischen Action 344. Elektrochemische Äquivalente 344. Proportionalität der elektrochemischen und gewöhnlichen chemischen Äquivalente 345 (s. auch Zerlegung, elektrochemische VI, 1057 f.). Elektrochemisches Äquivalent des Wassers 345. Bestimmung des elektrochemischen Äquivalents eines Körpers, wenn dessen chemisches Äquivalent und das elektrochemische Äquivalent des Wassers bekannt sind 346. Zerlegung der Sauerstoffsalze und Daniell's Ansicht über deren Zusammenlegung 347 (siehe Zerlegung, elektrochemische VI, 1055 ff.). Verschiedene Klassen von Elektrolyten 349. Polarisirte Metalle, positiv und negativ polarisirte 351. Ladungsäusen 351. Umkehrung des galvanischen Stromes durch die elektrochemische Polarisation der Me-

talle 352. Platinirte Platinplatten 352. Maximum der Polarisation 353. Einige Wahrnehmungen Poggendorff's beim Dehnen und Schließen der Rette 353. Wiedervereinigung der im Voltameter erzeugten Gase 354. Wasserzerlegung durch eine einfache Daniell'sche Rette 355. Einfluß der in der Zerlegungsstelle befindlichen Stoffe auf die chemische Wirksamkeit einer Rette oder deren Stromstärke 355 f. Interessante Polarisationsercheinung 356. Galvanischer Strom durch gleichartige Metalle 357. Nigenthümlicher Zustand chemischer Indifferenz 357. Passivität der Metalle (s. d. Art. Passivität der Metalle V, 146). Chemische Wirksamkeit der Maschinen elektricität (Reibungselektricität) 358 bis 361. — Physiologische Wirkungen des galvanischen Stromes 361—366. Elektrischer Schlag beim Dehnen und Schließen der Säule 362 (s. Thierische Elektricität VI, 355). Zuckungen der Muskeln frisch getödteter Thiere 363. Einige Wirkungen der einfachen galvanischen Rette in thierischen Organismen 363. Wirkungen des Galvanismus auf verschiedene Sinnesorgane 364. — Vergl. Pflanzen-Elektricität V, 200 und thierische Elektricität VI, 343. — Theorie der galvanischen Erscheinungen III, 366. Ursache der Contactelektricität nach der Schwinner'schen Hypothese 366. Erklärung derselben unter Voraussetzung eines elektrischen Fluidums 367—371. Faraday's Ansicht der elektrischen Erscheinungen 371—375. Erscheinungen der hydroelektrischen Rette insbesondere, Contact- und chemische Theorie 377—382. — Vergl. Leiter der Elektricität IV, 422, 462—463, Strom, elektrischer VI, 162, Wärme VI, 762 bis 769.

Galvanographie, s. Galvanoplastik III, 395.

Galvanometer, s. Multiplikator IV, 1132.

Galvanoplastik III, 382. Erfindung 382. Elektrotypen, Voltatypen 383. Galvanoplastik war vielleicht schon den alten Aegyptern bekannt 383. Galvanoplastische Apparate 384—386. Pulverförmiger, festhallinischer, coherenter Niederschlag der Metalle 386 f. Substanzen, die als Modelle gebraucht werden können 387. Intaglio 388. Anwendung der Haufenblase 389. Verschiedene Anwendungen der Reduction der Metalle durch Galvanismus 389. Vervielfältigung von Münzen und Medaillen 389. Anwendung der Galvanoplastik für Bildhauer, Modellmacher u. 391,

zur Vervielfältigung von Typen in den Schriftgießereien ebenda. Auf galvanoplastischem Wege erzeugte Kupferplatten zum Graviren und Negn 392. Methode der Multiplication der gravirten Platten 392. Methode von Boetwin, nach welcher man erhabene oder vertiefte Abdrücke von Kupferstichen oder Zeichnungen erhalten kann 392. Vervielfältigung von Holzschnitten 394. Copiren der Daguerrebilder 394. Galvanographie 395. Herstellung dünner, dauernder Metallüberzüge 396. Vergoldung 396—399. Verplatinirung 399—400. Versilberung 400—402. Vernickelung 403. Verkupferung 402—404. Verzinnung, Verbleiung, Verzinkung 404. Galvanokaustik 405. Trocknes Negn 406. — Literatur 407—410 (s. auch Silber V, 890).

Galvanothermometer, s. Strom, elektrischer VI, 193.

Ganglehre, s. Geologie III, 513.

Gas III, 410. Fluidität und Expansibilität 411. Beziehung zwischen Dichtigkeit, Elasticität und Volumen eines Gases 412 ff. Mariotte'sches Gesetz 413. Bestätigung desselben für geringere Druckkräfte 415, bis zu einem Drucke von 27 Atmosphären 416 f. Prüfung desselben durch Regnault 418. Betrachtungen von Avogadro 420. Tabelle über die Dichtigkeiten, bei welchen das Maximum der Spannkraft (Tension) stattfindet, nebst den entsprechenden Drucken in Atmosphären 421. Dalton'sches Gesetz 421. Es gilt nur innerhalb gewisser Grenzen, daß alle Gase und Dämpfe sich zwischen gleichen Temperaturgrenzen in demselben Maße ausdehnen, und daß die Ausdehnung eines Gases zwischen denselben Temperaturgrenzen für gleiche Aenderungen der Temperatur unabhängig von seiner anfänglichen Dichtigkeit ist 422. Ausdehnungskoeffizienten 422. Verdichtung der Gase an der Oberfläche glatter Körper 422. Temperaturveränderungen bei der Compression und Verdünnung der Gase 423 (s. Wärme VI, 724 bis 725). Eintheilung der Gase nach ihrer chemischen Zusammensetzung 423. Einfache, zusammengesetzte, zündende, brennbare, weder zündende noch brennbare 423. Gay-Lussac'sches Gesetz, die chemische Verbindung gasförmiger Körper betreffend 424 (s. Volumtheorie VI, 384). — Expansion II, 950, Ausdehnung I, 615 ff., Dichte II, 479, Gewicht III, 532, Statik VI, 101 (s. Höhenmessung, barometrische III, 807), Ausfluß I, 638 (s. Röhrenleitungen V,

612 f.), Mechanik der Flüssigkeiten IV, 969; Wärme VI, 678, 693—697, 717 ff., 725 f., 736 f., Materie IV, 946 ff.; Verdichtung der Gase VI, 482.

Gasbeleuchtung III, 424. Geschichtliches 424—428. Brennbares Gas, die der Erde entströmen 429. Beschaffenheit der Körper, die zur Gasbeleuchtung dienen sollen 430. Materialien 431. Apparate zur Darstellung der Leuchtgase 432—434. Zeit des Zersetzungsprozesses 434. Vorgänge bei der Zersetzung 435. Ausbeute von Gas 436. Reinigung des Gases 437. Apparat zum Auffangen des Gases aus den Retorten 439. Kalkreiniger 440. Zusammensetzung des gereinigten Leuchtgases 441. Darstellung des Leuchtgases aus Del, Harz 441. Benutzung thierischer Abfälle 443, von Fichten- und Tannenzapfen 443 f., Bereitung des Leuchtgases aus Holz 444. Theer 446. Benzol (Benzin) aus Theer 447. Steinkohlendöl 447. Natriumchlorid; Pikrinsäure 448. Rectification des leichten Theeröles 448. Entstehung des Theeres aus ölbildendem Gase 448 f. Verwendung des zur Gasreinigung benutzten Kalkes 449. Hydrocarbonproceß von White 450. Verdünnende Gase: Grubengas, Kohlenoxydgas und Wasserstoffgas 450 f. Versuche Frankland's 452 ff. Anwendung des bituminösen Schieferthones 455 ff., Weg des gereinigten Gases bis zum Verbrauchsorte 456—468. Gasbehälter 457. Gasmesser 458. Regulirung des Druckes 460. Röhrenleitung 461. Absperrung des Gases 463. Brenner 464. Gestaltung der Flammen 465. Gasbeleuchtung in Familienzimmern 466. So genannte rauchverzehrende Apparate 467. Normirung der Gaspreise 468. Gasmesser von Clegg 469. Explosivirendes Gemenge von Leuchtgas und atmosphärischer Luft 470. Bestimmungen der Lichtintensität des Leuchtgases 471. Statistische Notizen über die Gasbeleuchtung 473. Gasfeuerung 476—479. Anderweitige Verwendungen des Leuchtgases in der Technik 480. Anwendung des reinen Wasserstoffgases als Leucht- und Brennstoff 480 ff. — Phetometer V, 307—311.

Gasmesser, s. Gasometer.

Gasometer III, 482, Gasbeleuchtung III, 456 f., 458 f., 469.

Gas-Schmelzofen, s. Schmelzen V, 739, Gebläse III, 488, 501.

Gattirung, s. Eisen II, 622.

Gebirgsarten, s. Berg I, 782, 796.

Gebirgsformationen, s. Berg I, 791.

Gebirgssoch, s. Berg I, 774.
Gebirgskamm, s. Berg I, 773 f.
Gebirgsländer, **Gebirgsarme**, **Gebirgszweige** u. s. w., s. Berg I, 766, 769 f.
Gebläse III, 488. **Trockne Gebläse** 489 bis 492. **Leiderner Blaschalg** 489. **Hölzerne Blasagebläse** 489. **Hölzerne Kasten-gebläse** 490. **Eiserne Cylindergebläse** 490. **Ventilator** 491. **Hydraulische Gebläse** 492 bis 497. **Glocken- oder Baader'sches Gebläse** 492. **Wassertrummelgebläse** 493. **Kettengebläse** 494. **Regulatoren**; **Windregulator** mit unveränderlichem Inhalt, **Trockenregulator** 497, **Wasserregulator** 498. **Weingeistlampengebläse** 499. **Ehrhard'sche Löthrohrlampe** mit **Terpentinöldampf** 499. **Sauerstoffgebläse** 504. **Sauerstoff-Wasserstoffgebläse** 504.
Gebundene Wärme, s. Wärme VI, 700.
Gediegene Metalle, s. Metalle IV, 1024.
Gedrittschein, s. Aspecten I, 363.
Gefälle, s. Bewegung des Wassers I, 847.
Gefärbte Schatten, s. Farbe III, 52.
Gefäß, **Mariotte'sches**, s. Springbrunnen VI, 67.
Gefäßbarometer, s. Barometer I, 656, 689.
Gefäßhaut, s. Sinne V, 914.
Gefrieren des Wassers, s. Aggregat I, 127, **Eis** II, 600, **Verdunstung** und **Verdampfung** VI, 498—506, **Höhlen** III, 836 ff., 840—842, **Reis** V, 636.
Gefrierpunkt, s. **Eis** II, 600.
Gefüge bei Krystallen, s. **Krystall** IV, 383.
Gefühlston, s. Sinne V, 904.
Gegenbewohner, **Gegenfüßler**, s. **Himmelsfugel** III, 806.
Gegendämmerung, s. Dämmerung II, 2.
Gegengewicht an der Wage, s. **Wage** VI, 773.
Gegenschein, s. Aspecten I, 363.
Gegensonnen, s. Hof III, 868.
Gegenstrom, elektrischer, s. **Induction**, elektrische IV, 31 f.
Gegenwirkung, s. **Druck** II, 359.
Gegenzunge an der Wage, s. **Wage** VI, 773.
Gehen III, 503. **Schritt**, **Trab**, **Galopp** bei vierfüßigen Thieren 503, **Galopp forcé** 504. **Gehen sechsfüßiger und achtfüßiger Gliederthiere** 504. **Art des Auftretens bei verschiedenen Thieren** 504. **Mechanismus des Gehens beim Menschen** 504. **Schrittdauer**, **Schrittlänge** 505. **Wirkung des atmosphärischen Luftdruckes** 506 (s. **Atmosphäre** I, 466—469). **Bewegung des Schwerpunktes** 507, **Veränderung (der Bewegung) des Schwerpunktes durch einen Stelzfuß** 507. **Verhältniß der Schritt-**

länge zur Senkung des Schwerpunktes 507. **Schnelligkeit des menschlichen Ganges** 507.
Gehirn, s. Sinne V, 904.
Gehör, s. Sinne V, 947—959.
Gehörgang, s. Sinne V, 947.
Gehörknöchelchen, s. Sinne V, 949.
Gehörnerv, s. Sinne V, 951.
Gehörsand (Gehörsteinchen), s. Sinne V, 951.
Geige, s. **Von** VI, 428 ff.
Geigenharz, s. **Harz** III, 699.
Geiser, s. **Quelle** V, 566—570, **Silicium** V, 899.
Gefrümmter Heber, s. **Heber**, **gefrümmter** III, 711.
Gelber Fleck, s. Sinne V, 915, 924.
Gelbbleierz, s. **Molybdän** IV, 1100.
Gelöschter Kalk, s. **Calcium** I, 919.
Geneigte Ebene, s. **Ebene**, **schiefe** II, 555, **Eisenbahn** II, 637.
Geocentrische Länge und Breite eines Planeten, s. **Breite und Länge eines Gestirnes** I, 905, **Planeten** V, 331 ff.
Geocentrischer Ort, s. **Planeten** V, 331.
Geodätische Messungen, s. **Erde** II, 875 bis 886, **Meridian** IV, 1016.
Geognosie III, 508.
Geogonie III, 508.
Geographie III, 508.
Geologie III, 509. **Descriptive Geologie** 510—517. **Verschiedenartige Mineralverbindungen der Erdrinde** 512. **Gänge**; **Hängendes**, **Liegendes**, **Sahlbänder**, **Ausgehendes (Ausbeissen)** der Gänge 513. **Idealer Querschnitt eines Theiles der festen Erdrinde** 514. **Verfeinerungen (Petrifactionen)** 515—517. **Zeitmuscheln** 516. **Dynamische Geologie** 517—538. **Feurigflüssiger Zustand**, **ursprüngliche Hitze des Erdkörpers** 518. **Starre Kruste über dem tropfbarflüssigen Kern** 518. **Urgebirge** 519. **Atmosphäre** 519. **Abkühlung der Erde** 520. **Zweite Periode der Erdbildung** 520—521. **Neptunische Gesteine** 520 f. **Dritte Periode** 521—524. **Zechsteingruppe**, **Triasgruppe**, **Juraformation**, **Epoche der Grünsand- und Kreideablagerungen** 523. **Zeit für die Bildung SaarbrückerSteinkohlenformationen** 524. **Vierte Periode** 524. **Karte der Meere in der Kreideperiode**. **Erratische Blöcke** 525 (s. **Gletscher** III, 624 f.). **Fünfte und letzte Periode** 525. **Krystallinisch-schieferige**, **metamorphische Gesteine** 527—530. **Pseudomorphosen** 530. **Ausfüllungen der Gänge**, **Gesteingänge**, **Mineral- und Erzgänge** 530 f. **Geschichtliches** 531 bis 538. **Geogenie** 538—541.
Geologische Orgeln, s. **Höhlen** III, 848.

Geometrischer Mittelpunkt, f. Spiegel VI, 80.
 Geometrisches (mathematisches) Bild, siehe Linsenglas IV, 558 ff., Spiegel VI, 83.
 Geothermometer, f. Thermometer VI, 337.
 Gepaarte Säuren, f. Säuren V, 674 f.
 Gerade Aufsteigung, f. Aufsteigung, gerade I, 569.
 Gerade Destillation, f. Destillation II, 469.
 Gerade Fläche, f. Ebene II, 583.
 Gerade Endfläche, f. Kry stall IV, 367, 370.
 Gerader Schatten, f. Schatten V, 713.
 Geradeführung, f. Dampfmaschine II, 349.
 Geräusch, f. Schall V, 697.
 Geräusch vor Hagelwettern, f. Hagel III, 682.
 Gerbstoff, f. Galläpfel III, 303.
 Geruch, f. Sinne V, 911.
 Gesättigte Lösung (Auflösung), f. Auflösung I, 569, Lösung IV, 647, 649 ff.
 Gesättigte Magnete, f. Magnetismus, IV, 749.
 Geschmack, f. Sinne V, 909.
 Geschmeidige Metalle, f. Dehnbarkeit II, 455.
 Geschwindigkeit, f. Dehnbarkeit II, 455.
 Geschwefelte Kupfererze, f. Kupfer IV, 388.
 Geschwindigkeit, f. Bewegung I, 808, 811—830, Mechanik IV, 952, Geschwindigkeit bei der Centralbewegung I, 832, beim Fall der Körper, f. Fall der Körper III, 6 ff., Bewegung I, 834 ff., beim Stoß der Körper I, 838. Winkelgeschwindigkeit I, 808 (f. Trägheitsmoment VI, 437). Geschwindigkeit des Wassers in Kanälen und Flüssen I, 847 ff. (f. Ströme VI, 155 f.), in Röhrenleitungen (f. d. Art. V, 639 ff.). Angaben über die Geschwindigkeit der Ströme, Flüsse und Bäche, 851. Ausflusgeschwindigkeit des Wassers aus Wandöffnungen (der Gefäße) I, 624, Ausflusgeschwindigkeit der Luft I, 638, durch Röhrenleitungen V, 642 f. Geschwindigkeit fester Körper in widerstehenden Mitteln, f. Mechanik der Flüssigkeiten IV, 968 ff., 969 f. Geschwindigkeit des Windes, f. Winde VI, 990. Geschwindigkeit des Schalles, f. Schall V, 699 ff., in tropfbaren Flüssigkeiten, f. Wellenbewegung VI, 936 f., in Gasen und Dämpfen VI, 937. Geschwindigkeit des

Lichtes, f. Licht IV, 515 ff. Geschwindigkeit der Elektrizität, f. Elektrizität II, 738 ff. Geschwindigkeit der Gewitter, f. Gewitter III, 563, 600. — Geschwindigkeit der Planeten in der Bahn, f. Planeten V, 349. Geschwindigkeit von Wurfschossen, f. Pendel V, 184 ff., Strom, elektrischer VI, 198, Wurfbewegung VI, 1037. — Geschwindigkeit der Bewegung auf Eisenbahnen, f. Eisenbahn II, 628 f., 630, 662, Locomotive IV, 593 ff., 619, 625 ff. — Geschwindigkeit, mit welcher Vögel fliegen, f. Fliegen III, 283. Geschwindigkeit des menschlichen Ganges, f. Gehen III, 807. Geschwindigkeit der aufsteigenden Bewegung eines Luftballons, f. Luftball IV, 680. Luftschiffahrtskunde IV, 708. Geschwindigkeit der fortschreitenden Bewegung desselben, f. Luftschiffahrtskunde IV, 710 ff. — Geschwindigkeit des Luftzuges in Schornsteinen (Gassen) f. Feuer III, 143, Heizung III, 746. — Abflusgeschwindigkeit erhitzter Körper, f. Wärme VI, 678—687. Geschwindigkeit, virtuelle, f. Statik VI, 79, 80.
 Gesetz (Naturgesetz), f. Naturwissenschaft V, 25.
 Gesetz der Erhaltung der Quantität der Materie, f. Verwandtschaft, chemische VI, 567.
 Gesetz der multiplen Proportionen oder der Vielfachen, f. Verwandtschaft, chemische VI, 568.
 Gesicht, f. Sehen V, 827, Sinne V, 912.
 Gesicht im Monde, f. Mond IV, 1116.
 Gesichtsfehler, f. Sinne V, 937.
 Gesichtsfeld, f. Sinne V, 929; des Fernrohrs, f. Fernrohr III, 102, 119, des Mikroskops, f. d. Art. IV, 1044.
 Gesichtshallucinationen, f. Sinne V, 940.
 Gesichtsschwäche, f. Sinne V, 938.
 Gesichtswinkel, f. Sinne V, 921, Sehen V, 831.
 Gestade, f. Meer IV, 980.
 Gestalt der Erde, f. Erde II, 875 f.
 Gestalt der Gebirgskämme, f. Berg I, 774.
 Gestaltlos, f. Amorph I, 151.
 Gestirne, f. Sterne VI, 112.
 Gestreifte Oberfläche bei Kry stallen, f. Kry stall IV, 383.
 Gestrichte Kry stallmassen, f. Kry stall IV, 383.
 Getriebe, f. Räderwerk V, 575.
 Viertelschein, f. Aspekt I, 363.
 Gewicht III, 541, absolutes 541—546. Französisches Maß- und Gewichtssystem 542 (f. auch Maß IV, 896 ff., 902, 908

ff.). Tabelle zur Vergleichung der Gewichte verschiedener Länder mit dem Grammgewicht 342 (f. Maß IV, 911). Ungleichheit des Gewichtes eines und desselben Körpers an verschiedenen Orten der Erdoberfläche 343. Gewichtsreduction 343 ff. Tafel zur Reduction der Abwägungen 346. Specifisches Gewicht 346 bis 359. Begriffsbestimmung 346. Dichte 347 (f. auch Art. Dichte II.). Relation zwischen dem absoluten und specifischen Gewicht und dem Volumen 347. Bestimmung des specifischen Gewichtes fester Körper 347 bis 350. Archimedisches Princip 348 (f. Statist VI, 93). Hydrostatische Wage 348 f. Wage VI, 774). Specifisches Gewicht poröser und pulverförmiger Körper 349. Volumenometer 350 (f. v. Art. VI, 382). Bestimmung des specif. Gewichtes flüssiger Körper 350—352. Hydrometer Alexander's 351. Vergl. Art. Aräometer I, 278. Bestimmung des specifischen Gewichtes der Gasarten 352. Specif. Gewicht der atmosphärischen Luft 353. Gewicht eines Kubikcentimeters trockner atmosphärischer Luft 354. Specifisches Gewicht von Dämpfen, f. Dampf II, 135 ff. — Dichtigkeit der Mischung zweier Körper 355. Einfluß der Contraction bei Mischungen auf das specif. Gewicht 355 ff. Specifisches Gewicht von Porcellanmassen in verschiedenen Zuständen 357. Veränderung der Dichte fester Körper durch äußeren Druck 357. Einfluß der Temperatur auf die Dichte, f. Ausdehnung I, 573, 575, 581, 589 ff., 616 ff. Größte Dichte des Wassers III, 558. Tabelle für die Dichtigkeit des Wassers von 40° F. bis 85° F. Gewicht eines Liters Wasser im Maximum der Dichte 359 (f. Wasserstoff VI, 826). Gewichtsverhältniß zwischen Quecksilber und Luft 359.

Gewichtardometer, f. Aräometer I, 279.

Gewinde, f. Schraube V, 753.

Gewitter III, 560. Gewitter in niederen Breiten 561. Menge der Gewitter und deren Vertheilung auf die Jahreszeiten 561. Wintergewitter 562. Gewitter in Beziehung auf die Tageszeiten 563. Zug der Wintergewitter in Norwegen 563. Geschwindigkeit der Gewitter 563. Blitz oder Wetterstrahl 563—578. Bewegung des Blitzes im Jickjad 568. Spiralförmige Bewegung des Blitzschlages an Bäumen 569. Schlagweite 569 f. Ziel des Blitzes 570. Weg des Blitzes 571. Mechanische Gewalt des Blitzes 572 ff. Sogenannte Plazung beim Uebergange des Blitzes von einem Gegenstande zum anderen 573.

Kalte Schläge 574. Geruch beim Einschlagen 575. Rückschlag 574 f. Vom Blitze Erschlagene 576. Mittel zur Rettung des vom Blitz Getroffenen 577. Regeln, um sich vor dem Blitze zu schützen 578. Blitzableiter 578—596. Aufhängestangen, Blitzfänger 580. Offensive und defensive Blitzableiter 580. Leitung des Blitzableiters 583; bei Stroh- und Schilfdächern 585. Leiter aus Draht 586, aus Eisensienen (Eisenstangen) 587. Ende der Leitung 587. Blitzableiter an Windmühlen 589, an Schiffen 590. Schutz der elektrischen Telegraphen gegen den Blitz 592—595. Anti-Jupiter 595. Blitzableiter von Stroh 595 f. Prüfung der Blitzableiter 596. Donner III, 596. Bestimmung der Entfernung des Gewitters 597. Rollen des Donners 597 ff. Blitze ohne Donner 599. — Bedingungen der Gewitterbildung 600. Geschwindigkeit des Gewitters 600. Zug der Gewitterwolken in Europa 600. Winterrisse vor dem Gewitter 601. Gewitter auf der Ostseite 601.] Veränderung in der Richtung des Gewitters 601. Gewitter der Ostseite ziehen höher als die der Westseite 601. Gewitter der Windrillen 601. Theilung eines Gewitters 601 f. — Luzelektricität IV, 684; Wetterleuchten VI, 964.

Gewölbböhlen, f. Höhlen III, 833.

Gewölz, f. Wollen VI, 1013.

Wichtigke, f. Eisen II, 623.

Wickfannenknorpel, f. Stämme VI, 133.

Wismuth, f. Arsenik I, 358.

Wipfel eines Berges, f. Berg I, 776.

Wipfelsäcken, Wipfelanten, f. Krysal IV, 361 f.

Wisp, f. Berg I, 785, Calcium I, 922.

Wispfiguren, f. Krysal IV, 357 f.

Wisphöhlen, f. Höhlen III, 847.

Wismärkel, f. Calcium I, 923.

Wladieren, f. Eis II, 615.

Wladierne Fruchtigkeit, f. Sinne V, 917.

Wlanz III, 602.

Wlanz verschiedener Sterne verglichen mit dem der Sonne, f. Photometer V, 282, 303.

Wlanz der Fixsterne, f. Fixsterne III, 217 f.

Wlanze, f. Metalle IV, 757.

Wlanzfohlen, f. Feizung III, 729.

Wlan III, 605. Geschickliches 605. Chemische Zusammenlegung des Glases 605. Das Glas ist wenigstens ein Doppelsalz 606. Weiche und harte Gläser 606, Glasfag 607. Anfärbungsmittel 607. Glasbrocken 607. Glasöfen 608. Bänke (Gefäß), Hafen (Wannen), Temperofen, Hafenthere 608. Kühlen des Glases 609.

Glasbränen, Bologneser Flaschen, Neaumur'sches Porcellan 609. Fehlerfreies Glas 610. Bleifreie und bleihaltige Gläser 610. Flintglas und Crownglas 611. Blindwerden des Glases 612. Gefärbte Gläser 612. Aventuringlas, Steinglas und Milchglas 612. Malen auf Glas; Vergoldung des Glases 612. (Glasäßen, s. Fluor III, 290). Zerschneiden des Glases 612. Durchbohren des Glases 613. Glasäßen, s. Fluor III, 290. Glaszylinder zu Elektrifirmaschinen, s. Elektrifirmaschine II, 766 f. Glas-Electricität, s. Electricität II, 718 f. Glasfäden, s. Dehnbarkeit II, 459, Elasticität II, 687. Glasfeuchtigkeit, Glashaut, Glaskörper, s. Sinne V, 917. Glasglockenelektrifirmaschine II, 774. Glasharmonika, s. Ton VI, 428. Glasmikrometer, s. Mikroskop IV, 1062. Glasöfen, s. Glas III, 608. Glasverlen, aräometrische, s. Aräometer I, 357. Glasap, s. Glas III, 607. Glasviegel, s. Spiegel IV, 43, 44. Glasbränen, s. Glas III, 609, Elasticität II, 687. Glatteis, s. Reif V, 637. Glaubersalz, s. Natrium V, 14 f. Gleichartig polarisirte Lichtstrahlen, s. Farbenringe III, 77 (in der Anmerk.). Gleicher, s. Aequator des Himmels und der Erde I, 118, Erde II, 874. Gleichgewicht, s. Mechanik IV, 954, Statik VI, 70. Statisches und dynamisches Gleichgewicht an Maschinen, s. Maschine IV, 887 f. Gleichgewicht schwerer Körper, s. Statik VI, 81; labiles, stabiles, indifferentes Gleichgewicht, ebenda 81, 82 ff. Gleichgewicht tropfbar flüssiger Körper, s. ebenda VI, 85, Gleichgewicht schwimmender Körper VI, 94 ff. Gleichgewicht gasförmiger Körper VI, 101. — Gleichgewicht am Hebel VI, 73 und Hebel III, 1707. Gleichgewicht an den einzelnen Maschinen, s. die einzelnen Maschinen. Gleichmäßige Fortpflanzung des Druckes in tropfbaren Flüssigkeiten, s. Statik VI, 86, in Gasen VI, 101. Gleichheit der Wirkung und Gegenwirkung, s. Druck II, 559. Gleichnamige Pole, s. Magnetismus IV, 746. Gletscher III, 613. Mächtigkeit derselben in den Polargegenden 613. Entstehung 614. Firnlinie 615. Schichtung des Gletschereises; Spalten in demselben 615.

Gletscherbäche 616. Wachsen und Zurückgehen der Gletscher 616. Theorie des Fortrückens der Gletscher 617—622. Gletscherwind 618. Die Bewegung des Gletschers ist in der Mitte größer als an den Seitenwänden 620. Theorie Sauffure's 617 ff.; Ansicht von Scheuchzer und Charpentier 620; weitere Ausbildung dieser Ansicht von Agassiz 621. Gandelken, Moränen 622. Endgandke 623. Gletschertisch 623. Verbreitung erraticcher Blöcke durch Gletscher 624 ff. — Vergl. Verdunstung und Verdampfung VI, 505 ff. Gletscherbäche, s. Gletscher III, 616. Gletschertisch, s. Gletscher III, 623. Gletscherwind, s. Gletscher III, 618. Glukometer, s. Aräometer I, 356. Glimmerschiefer, s. Berg I, 784. Globus, s. Himmelskugel III, 803. Glocke, s. Ton IV, 407. Glockengut (Glockenspeise), s. Kupfer IV, 403. Glockenmaschine, s. Elektrifirmaschine II, 774. Glockenspeise, s. Glockengut. Glockenspiel, elektrisches III, 625. Glühen der Alpen, s. Dämmerung II, 3. Glühen der Körper, s. Flamme III, 236, Verbrennung VI, 475 f. Glühendwerden des Eisens durch rasches Hämmern, s. Wärme VI, 726. Glühlampe, s. Verbrennung VI, 476 477 f. Glühspan, s. Eisen II, 618. Glühphänomene an Platinspiralen, die in einer Sauerstoff- oder Wasserstoffatmosphäre vom elektrischen Strome durchflossen werden, s. Strom, elektr. VI, 95. Glühverlust, s. Analyse I, 157. Gluth (Gluth), s. Flamme III, 236, Verbrennung VI, 457 f. Glycerin, s. Fette III, 139, Verseifung VI, 513, 516 ff. Weingeist VI, 851. Glycium, Verhillium III, 626. Gneuß, s. Berg I, 784. Gnomon, s. Meridian IV, 1013. Gnomonik, s. Sonnenuhren VI, 27, 33. Göpel, s. Rad der Belle V, 573. Gold III, 627. Darstellung des Goldes aus Erzen; Goldscheidungsmethoden 628. Blattgold 629. Goldamalgam, s. Amalgam I, 140. Goldblattelektrometer, s. Elektrometer II, 826 ff. Goldchlorid, s. Gold III, 630. Goldchlorür, s. Gold III, 631. Goldene (guldene) Zahl, s. Cycles I, 1016. Goldoxyd, s. Gold III, 629. Goldoxydammoniak, s. Gold III, 630.

- Goldoxydhydrat, f. Gold III, 630.
 Goldpulver, f. Gold III, 629.
 Goldpurpur des Cassius, f. Gold III, 630.
 Goldsäure, f. Gold III, 629.
 Goldschlägerhaut, f. Luftball IV, 676.
 Goldschaum, f. Kupfer IV, 401.
 Goldscheidungsmethoden, f. Gold III, 628.
 Goldschwefel, goldfarbiger Spiegelschwefel, f. Antimon I, 238.
 Gelf, f. Meer IV, 980.
 Gelfstrom, f. Meer IV, 1002.
 Gen-Gen, f. Ton VI, 428.
 Goniometer III, 631. Aufleges, Hand- oder Contactgoniometer von Carangeau 631. Contactgoniometer von Nachchi 632. Reflexionsgoniometer 633. Abänderung am Kristallträger von Raumann 634. Goniometer mit Fernrohr und Fadenkreuz 636. Goniometer von Babinet, von Wallmark und Matthiesen 637. Vergleichsgoniometer von Weidmann 637.
 Grade, Breiten- und Längengrade der Erde, f. Erde II, 873—894. Parallellkreise V, 139. Meridian IV, 1014 f.
 Grade der Thermometer, f. Thermometer VI, 317 ff.
 Gradwaage, f. Aräometer I, 354.
 Gradmessungen, f. Erde II, 875 ff.
 Gramm, f. Maß IV, 898, 902, 911.
 Granat, f. Silicium V, 899.
 Granit, f. Berg I, 782.
 Graphit, f. Kohlenstoff IV, 290.
 Grath, f. Berg I, 774.
 Grauer Haar, f. Sinne V, 937.
 Graupeln, f. Hagel III, 676.
 Graupieschlänger, f. Antimon I, 238.
 Gravimeter, f. Aräometer I, 278.
 Gravitation, f. Schwere V, 797.
 Größe des Bildes (bei Linsegläsern), f. Linseglas IV, 558 ff.; in Fernrohren, f. Fernrohr III, 402 ff.
 Größe, scheinbare beim Sehen der Gegenstände, f. Sehen V, 1830, Sinne V, 921, 928, 933.
 Größe eines Gesirnes, berechnet aus der Horizontalparallaxe, f. Parallaxe V, 137.
 Größenbestimmung kleiner Gegenstände, f. Mikrometer IV, 1032.
 Großer Ocean, f. Meer IV, 979.
 Große Axe der elliptischen Planetenbahn, f. Planeten V, 337.
 Grotten, f. Höhlen III, 833.
 Grünfandablagerungen, f. Berg I, 797.
 Grünstein, f. Berg I, 783.
 Grünspan, f. Kupfer IV, 397.
 Grundeis, f. Eis II, 603 f.
 Grundfarben, f. Farbe III, 32 f., 35.
 Grundformen der Kristalle, f. Kristall IV, 363.
 Grundlage (Basis), f. Basen I, 747, Salze V, 678 f., Säuren V, 670 ff.
 Grundlaune, f. Schnee V, 747.
 Grundstoffe, f. Einfache Körper II, 596.
 Grundton, f. Ton III, 383 ff., 389, 410 f.; Monochord IV, 1121.
 Grundwasser, f. Quelle V, 574.
 Guajacherg, f. Harze III, 704.
 Guano, f. Stickstoff VI, 120.
 Guferlinie, f. Gletscher III, 629.
 Gummi elasticum, f. Kautschuk IV, 210.
 Gummiad, f. Harze III, 703.
 Gummi Gutt, f. Harze III, 704.
 Guseiten, f. Eisen II, 624.
 Guseitene Brückenträger, f. Festigkeit III, 136.
 Gussstahl, f. Eisen II, 626.
 Gussstahlglocken, f. Kupfer IV, 403.
 Gutta Bercha III, 638. Vorkommen der Gutta Bercha im Handel 639. Entsehung des Harzhofes 639. Syrisches Gewürz 640. Verhalten gegen die Wärme 640 f. Lösungsmittel 641. Erweichen in heißem Wasser 641. Darstellung der reinen Gutta Bercha 642. Oberflächenveränderung der Gutta Bercha, und Verhalten gegen die Elektrizität 642 f. Ausziehung gewisser Harze aus der Gutta Bercha 643. Chemische Untersuchung der Gutta Bercha durch Aviani 645. Verschiedenheit der Gutta Bercha vom Kautschuk 646. Chemisches Unterscheidungsmitel zwischen Gutta Bercha und Kautschuk 647. Anfertigung von chirurgischen Instrumenten aus Gutta Bercha 647, 650 f. Beimischung verschiedener Substanzen zur Gutta Bercha 648. Imprägnierung der Gutta Bercha mit Schwefel 648 f. Anfertigung verschiedener Gegenstände aus Gutta Bercha 649. Darstellung wasserdichter Zeuge 650. Anwendung der Gutta Bercha beim Schiffbau 651 f. zu Schöpfseimern u. 651. Hörapparat für Taube 652. Verzeichniß mannichfaltiger Artikel aus Gutta Bercha 653. — Gutta Biers 654.
 Gyps, f. Gyps.
 Gyreidometer, Gyreidoffov, f. Farbenringe Newton's III, 58.
 Gyretrop, f. Inversor IV, 114.
 Haar der Menschen, Dehnbarkeit desselben, f. Dehnbarkeit II, 460.
 Haar der Kometen, f. Kometen IV, 325.
 Haarförmige Kristalle, f. Kristall IV, 383.
 Haarhygrometer (Haarhygroscop), f. Hygrometer III, 910, 912.
 Haarzieß, f. Nidel V, 60.

- Haarröhrchen, s. Haarröhrchenwirkung.
- Haarröhrchenwirkung, Capillarität III, 655. Geschichtliches 655—657. Abhängigkeit dieser Wirkung von Adhäsion und Cohäsion 657. Concaver Meniscus 657. Ableitung der Erscheinung nach Laplace 657—663. Mire's Ansicht 663. — Versuche 663 — 665. Bestimmung der Höhe der Flüssigkeit in einem Haarröhrchen 664 f. Tabellen bezüglich der Haarröhrchenwirkung 666 — 672. Erklärung verschiedener Erscheinungen aus den Gesetzen der Haarröhrchenwirkung 673. Depression des Quecksilbers, s. Barometer I, 728 ff., III, 670 f.
- Haarsterne, s. Kometen IV, 323.
- Häckerling zum Löschen angewendet, s. Feuer III, 146.
- Hämmer, tönende des Pythagoras, s. Ton VI, 405.
- Hämmerbarkeit, s. Dehnbarkeit II, 433.
- Hängebrücke, s. Seilmaschine V, 853.
- Härchen im Gehörgange, s. Sinne V, 947, 955.
- Härte III, 673. Steigerung der Härte in einzelnen Körpern 674. Einschnelden eines weichen Körpers in einen härteren 674 f., Elasticität II, 685.
- Härte des Wassers, s. Wasserstoff IV, 835.
- Härte des Stahls, Einfluß derselben auf den Magnetismus, s. Magnetismus IV, 756.
- Häutiger Vagengang, s. Sinne V, 951.
- Hafen, s. Meer IV, 980.
- Hafen bei der Glasbereitung, s. Glas III, 608.
- Haff, s. Meer IV, 980.
- Hagar-Presse, s. Kniepresse IV, 283.
- Hagel, Schloßen III, 676. Graupeln im Unterschiede zum eigentlichen Hagel 676. Größe der Hagelkörner in mittleren Breiten 677. Fremdartige Substanzen in Hagelkörnern 678. Vertheilung der Hagelweiten nach den Jahreszeiten 679. Einfluß scheinbar geringfügiger Verhältnisse 680. Seltenheit des Hagels in tiefer liegenden Gegenden zwischen den Wendekreisen 681. Eigenthümliches Geräusch als Vorbote von Hagelwettern 682. Herabdrückung der Temperatur bei Hagelwettern 683. Beobachtungen von Lecoc 684. Prüfung des aus Hagelkörnern gesammelten Wassers 685. Entstehung des Hagels 685—688. Theorie von Volta, von Buch 685, von Munde und Rämß 686 ff., von Olmsted 688.
- Hagelableiter III, 688.
- Hahn bei Luftpumpen, s. Luftpumpe IV, 715. Senguerb'scher Hahn 716, Großmann'scher 719, Babinet'scher 721 ff.
- Hahn mit einer Oberfläche von doppelter Krümmung, s. Reibung V, 630.
- Hahnluftpumpe, s. Luft IV, 715.
- Halbkohlenwasserstoff, s. Kohlenstoff, IV, 310.
- Halbkreisförmige Kanäle, s. Sinne V, 950.
- Halbkugeln des Himmels und der Erde, s. Aequator des Himmels und der Erde I, 118.
- Halbkugeln, Magdeburger, s. Atmosphäre I, 473.
- Halbleiter, s. Leiter der Electricität IV, 460.
- Halbmesser der Undeulichkeit, s. Abweichung, optische II, 101.
- Halbschatten, s. Schatten V, 712.
- Halbsiehn, s. Sinne V, 939.
- Halbschwefelkupfer, s. Kupfer IV, 398.
- Halbschwefelquecksilber, s. Quecksilber V, 540.
- Halogen, s. Chlor I, 957.
- Haloidsalze, s. Salze V, 677, 679.
- Halbarkeit, s. Festigkeit III, 122.
- Hammer (Gehörnöchelchen), s. Sinne V, 949.
- Hammerschlag, s. Eisen II, 618.
- Hand-Goniometer, s. Goniometer III, 631.
- Hand-Harmonika, s. Ton VI, 432.
- Handramme, s. Ramme V, 380.
- Hanföderung, s. Dampfmaschine II, 371.
- Hangendes, s. Geologie III, 513.
- Harfe, s. Ton III, 428.
- Harlemer Elektrirmaschine, s. Elektrirmaschine II, 372 f.
- Harmattan, s. Winde VI, 988.
- Harmonika, chemische III, 689. Anstellung des Versuches 689 f. Entstehung des Tones nach Chladni 690, nach Faraday 691. Tönen erhitzter Röhren 691. Ansicht von Binaud 692, von Sandhauf 693. — Vergl. Ton VI, 420 f.
- Harmonische Töne, s. Ton VI, 394, Wellenbewegung VI, 927 f., 929.
- Hart, s. Härte III, 673, Elasticität II, 685.
- Harte Haut, s. Sinne V, 914.
- Hartlöthen, s. Löthen IV, 654 f.
- Harmonium, s. Ton VI, 432.
- Harnstoff, s. Kohlenstoff IV, 316.
- Harze III, 695. Vorkommen in Pflanzen 696. Die meisten Harze sind Gemenge mehrerer verschiedener 696. Eintheilung der Harze in elektronegative, in saure und indifferenten 696. Harze und ätherische

Dele 697. Klüffige und feste Harze 698. Terpentin 698. Copaivabalsam, Moccabalsam, Tolubalsam, flüssiger Storax, chinesisches und japanisches Firniß; Fichtenharz, weißes Pech oder Burgunder Harz, Colophonium (Grighenharz), schwarzes Pech 699. Resinein, Resinon, Retinyl, Retinaphtha, Retinol, Metanaphthalin 700. Copal, Dammarharz, Mastix, Sandarac, Elemi 701. Benzoe, Pustoharz, Ladanium, Talamaharz, Birkenharz, Galophyllum, Anthiarharz, Roth- und Braunharz, Botanybayharz, schwarzes Buben-gummi, Lactucen, Asclepien 702. Guajacharz, Jalappenharz, Gummilack, Stod-lack, Körnerlack, Taffelack (Schellack) 703. Scheinharze; fossile Harze 704. Verwendung der Harze im praktischen Leben 706. Harzelektricität, s. Elektricität II, 718 f. Harzlitte, s. Ritte IV, 234, 239. Harzfuchen zum Elektrophor, s. d. Art. II, 843 f. Haspel, s. Rad an der Welle V, 373. Hauchfiguren und Hauchbilder, s. Figuren, elektrische III, 196. Haufenwolke, s. Wolken VI, 1017 f. Hauptaxe, s. Krystall IV, 361, Spiegel VI, 50. Hauptbrennpunkt, s. Spiegel VI, 51. Hauptdurchgänge, s. Krystall IV, 379. Hauptfluß, s. Ströme VI, 133. Hauptgebirgsketten, s. Berg I, 766. Hauptkamm, s. Berg I, 773. Hauptregenbogen, s. Regenbogen V, 613. Hauptschnitt, s. Brechung des Lichtes I, 892, Polarisation des Lichtes V, 394, 437 ff. Hauptstrahl, s. Linsenglas IV, 533. Hautwärtchen, s. Sinne V, 906. Hebel III, 707. Mathematischer und physischer; geradliniger und Winkel-Hebel, doppelarmiger und einarmiger 707. Gleichgewicht am geradlinigen mathematischen Hebel 708. Statisches Moment der Kraft 709. Physischer Hebel 710. — Vergl. Statik VI, 75. Hebepresse, s. Presse V, 476. Hebepumpe, s. Pumpe V, 491. Heber, anatomischer III, 710. Heber, gekrümmter III, 711. Grund der Ercheinung 713. Größe der Ausflußgeschwindigkeit 714. Methoden, die Füllung des Hebers zu bewerkstelligen 715. Striessel'scher oder Württemberg'scher Heber 718. Springheber, Sonnenheber, unterbrochener Heber 718. Verirbecher 719. Anwendung des Hebers im Maschinenwesen 719. Anwendung bei chemischen Arbeiten 720 f.

Heber, gerader III, 721. Heberbarometer, s. Barometer I, 656, 663. Hebermanometer, s. Dampfmaschine II, 343. Hebezeug, Heblade III, 722. Deutsche Heblade 722. Einfachere Einrichtung 723. Hebung der Gebirgsketten, s. Berg I, 797. Hedenbergit, s. Augit I, 371. Heerde, s. Herde. Heerrauch, s. Höhenrauch III, 849. Hefe, s. Gährung III, 300. Heiderauch, s. Höhenrauch III, 849. Heiße Winde, s. Winde VI, 987 f. Heißwasserheizung, s. Heizung III, 788. Heizkammer, s. Heizung III, 770. Heizröhren bei Locomotiven, s. Locomotive IV, 585. Heizung III, 723. A. Heizung im Allgemeinen 723 — 725. B. Brennmaterien 725 — 739. Wassergehalt des Brennstoffes 726. Harte und weiche Hölzer 727. Holzkohlen, Torf 728. Steinkohlen, harzige und harzlose 729. Wärmemenge, welche die Brennmaterien liefern (s. auch Verbrennung VI, 474 f.); Methode von Berthier 729. Versuche über den nutzbaren Wärmeeffect 730. Relativer Werth verschiedener Hölzer und Holzkohlen 730. Tabelle nach Beclet 731. Aschengehalt der Hölzer 732. Holzkohlen 733. Torf 734. Steinkohlen 735 ff. Roaks 737. Formel für die Heizkraft und für die zum vollkommenen Verbrennen eines Kilogrammes erforderliche Luftmenge 738. Holzsparkungskunst 738. C. Heizungsanlagen 739 — 755. Herd (Feuerherd); Kesselheizung, Kasse 740 ff. Feuerraum 742. Rauchverzehrende Herde 743. Einrichtung von Collier 743, von Beclet 744, Herd mit niederwärtsgehender Flamme 745; doppelte Herde 745. Schornstein 746 — 755. Geschwindigkeit der einströmenden Luft 746 f.; Einfluß der Höhe 747, Weite 748. Berechnung der Dimensionen der Schornsteine 748 ff. Wärmeverlust 749 ff. Einfluß des Windes, Barometerstandes, der Temperatur, des hygrometrischen Zustandes und der Sonnenstrahlen 753 ff. D. Heizung der Wohnungen 755 — 783. 1. Heizungsarten 755 — 781. 1. Directe Heizung 755. 2. Kaminheizung 755 — 758. 3. Ofenheizung 758 — 768. Wärmeausstrahlung eines Ofens 767. — 4. Kanalheizung 768. — 5. Luftheizung 768 — 774. — 6. Dampf-

- heizung 774 — 777. — 7. Heißwassers-
 heizung 778—781. — II. Allgemeine Ver-
 hältnisse 781 f. — Vergl. Verbren-
 nung VI, 481 f.
- Helenenfeuer, f. Luftelektricität IV,
 705.
- Helialischer Auf- und Untergang, f. Auf-
 gang I, 367.
- Helicophon, f. Ton VI, 931.
- Heliocentrische Breite und Länge f. I, 903.
- Heliocentrischer Ort eines Planeten, f. Pla-
 neten V, 331 f.
- Heliochromie, f. Photographie V, 269.
- Heliometer, f. Mikrometer IV, 1037.
- Heliostat III, 782. Heliostat mit zwei
 Spiegeln und einem Uhrwerk 783. Helio-
 stat von Brandt 784. Abänderungen des
 d'Gravensand'schen Heliostates von Charles
 und Malus; Gambey'scher Heliostat 785.
 Heliostat von August, verbessert von Driel
 785 f.
- Heliotrop III, 787.
- Heliotrop, f. Silicium V, 898.
- Helle des Himmels an seinen verschiedenen
 Punkten, f. Himmel III, 798 ff.
- Helle Kammer I, 935.
- Helle Nächte, f. Dämmerung II, 8 f.,
 Strahlenbrechung VI, 146, Tag
 und Nacht VI, 210.
- Helligkeit des Bildes im Fernrohr, f. Fern-
 rohr III, 119, im Mikroskop, f. Mi-
 kroskop IV, 1065.
- Helligkeit des Mondes, f. Photometer V,
 3014.
- Helm, f. Destillation II, 469.
- Hemiedrische Formen, f. Krystall IV, 363,
 370 ff.
- Hemipie (Halbfische) V, 939.
- Hemiprismatisches System (Hemiorthopyes),
 f. Krystall IV, 362.
- Hemisphären des Himmels und der Erde, f.
 Aequator des Himmels und der
 Erde I, 118, Erde II, 874.
- Hemitropische Krystalle IV, 382.
- Hemmung bei Chronometern, f. Hemmung
 I, 972 ff.
- Hepatische Luft, f. Schwefel V, 783.
- Herapathit, f. Polarisation des Lichtes
 V, 398.
- Herbst, f. Jahreszeiten IV, 6.
- Herbstnachtgleiche, f. Nachtgleichen V, 1.
- Herde, f. Heizung III, 739 f.; rauchver-
 zehrende Herde 743.
- Hermesfeuer, f. Luftelektricität IV,
 705.
- Heronsball III, 788, Compressions-
 maschine I, 997.
- Heronsbrunnen III, 789.
- Herveyus, f. Planeten V, 351.
- Heteromerie III, 790.
- Heterotrope Mittel, f. Polarisation des
 Lichtes V, 454.
- Heuwage, f. Wage VI, 786.
- Heraeder, f. Krystall IV, 364.
- Heragonales System, f. Krystall IV, 363.
- Heronbrunnen, f. Quelle V, 531.
- Herametaphosphorsäure, f. Phosphor V,
 226.
- Himmel, Himmelsgewölbe, Firmam-
 ent, Sphäre III, 794. Genüch-
 täuschungen beim Anblick des Himmels
 795. Parallele, senkrechte, schiefe Him-
 melskugel 796. Absorption und Reflexion
 des Sonnenlichtes innerhalb der Atmosphäre
 796. Lichtmenge, welche die Sonne in
 ihren verschiedenen Stellungen auf ein
 Flächenstück des Erdbodens wirft, und
 Menge des durch Reflexion in der At-
 mosphäre zerstreuten Lichtes 797. Helle
 des Himmels an seinen verschiedenen Punk-
 ten 798 ff. Farben des Himmels 800 bis
 803.
- Himmelsgegenden (Weltgegenden), f. Horiz-
 zont III, 883.
- Himmelskugel, künstliche, Globus
 III, 803—805. Künstliche Erdfugel 805.
- Himmelskunde, f. Astronomie I, 374.
- Himmelsluft, f. Aether I, 121.
- Hitze, f. Wärme VI, 615.
- Hitze des Erdkörpers, ursprüngliche, f. Geo-
 logie III, 518, Erde II, 926.
- Hitze beim Eintreiben von Pfählen in die Erde,
 f. Ramme V, 580.
- Hochdruckmaschinen, f. Dampfmaschine
 II, 348 ff., Locomotive IV, 582.
- Hochdruckturbine, f. Wasserrad VI, 807.
- Hochebenen, f. Berg I, 766, 774.
- Hochland, f. Berg I, 766, 774.
- Höchste Gebirge, f. Berg I, 781.
- Hefe, f. Hof III, 861.
- Höhe der Atmosphäre, f. Atmosphäre I,
 479 — 488. Dämmerung II, 17.
- Höhe eines Gestirnes III, 806, Horiz-
 zont III, 882 f., Spiegelfertant VI,
 54, 57, Parallaxe V, 131, 132 f.,
 Feuerkugel III, 148—150, Culmi-
 nation I, 1017.
- Höhe eines Punktes über einer
 Ebene III, 806, über einer Kugelfläche
 806, über dem Meere 807.
- Höhe der Gebirge, f. Berg I, 777; Höhe
 der Gebirgspässe I, 780. Einfluß
 der Höhe eines Gebirges auf den Regen,
 f. Regen V, 601 ff.
- Höhe oder Tiefe der Töne, f. Ton VI, 379 f.,
 382, Schall V, 697.
- Höhenkreis, f. Almucanthatat I, 138.
- Höhenmessung, barometrische III,

807. Abnahme des atmosphärischen Luftdruckes mit wachsender Höhe 808 f. Formeln zur Höhenmessung 809—814. Correction wegen der Temperatur 810 ff. Correction wegen der Schwere 812. Correction wegen der geographischen Breite 812. Correction wegen der Feuchtigkeit 813. Tabellen zur Gleichterung der Rechnung 814—822. Verfahrensweisen bei den Barometerbeobachtungen 823 ff.
- Höhenmessung, thermometrische III, 826. Hygrometrische Thermometer 827; Apparat von Regnault 828. Tabelle der den beobachteten Siedpunkten des Wassers entsprechenden Barometerstände (zwischen 85° und 101°), reducirt auf 0°, 829—830. Formeln 831—832.
- Höhenmessung, trigonometrisch III, 832.
- Höhenparallaxe, f. Parallaxe V, 132 f.
- Höhenverhältnisse weit von einander entfernter Punkte, f. Niveliren V, 71.
- Höhlen III, 832. Spalten-, Gewölbs-, Durchbruchhöhlen 833. Entstehung der Höhlen 833—836. Dampf- oder Dunsthöhlen, Windhöhlen oder Wetterlöcher 836—840. Eishöhlen oder Eisgrotten 840. Temperaturhöhlen 842. Höhlen mit tiefen Wasserbehältern 842. Knochen- oder Zoolithen-Höhlen 842—843. Labyrinth von Greta 843 f. Höhlentempel in Indien 846. Mumienhöhle in Mexico 847. Schwefelgrotten; Gypshöhlen 847 f. Drusenhöhlen 848. Geologische Orgelpfeifen 848.
- Höhranch, Höhenrauch, Heers, Heides, Haars-, Land-, Sonnen-, Moor- rauch III, 849. Indianersommer in Amerika 853. Tellmann's Beobachtungen der Luftelektricität in Bezug auf Höhenrauch 854. Galina in Spanien 857.
- Höllenstein, f. Silber V, 886.
- Hömoorthe Körper, f. Isomorphismus IV, 148.
- Hören, f. Sinne V, 947 ff.
- Hörmaschine, f. Hörrohr III, 836.
- Hörner, f. Berg I, 776.
- Hörrohr III, 837.
- Hof III, 861. Doppelhof, dreifacher, scheibenförmiger Hof; große und kleine Höfe (Kränze) 862. A. Kleine Höfe oder Kränze 862—868. Brodenschatten oder Brodensgespenst 867. Gegenonnen 868. Heller Schein um den Schatten des eigenen Kopfes 868. B. Große Höfe oder Höfe im engeren Sinne 868—874. Erklärung derselben 875—880. Nebenonnen und Nebenmonde 869 f., 878 ff.
- Hohe Fluth (hohes Wasser) f. Ebbe und Fluth II, 374.
- Hohle See, f. Meer IV, 1010.
- Hohofen, f. Eisen II, 622.
- Hohlspiegel, f. Spiegel VI, 30 f.
- Holländisches Fernrohr, f. Fernrohr III, 102.
- Holländisches Hygrometer, f. Hygrometer III, 907 f.
- Holz, als Brennmaterial, f. Heizung III, 726 ff., 730 f.
- Holzasbest, f. Asbest I, 363.
- Holzgeist, f. Weingeist VI, 871.
- Holzkohle, f. Kohlenstoff IV, 292 f.; — als Brennmaterial, f. Heizung III, 728, 733 f.; als Leiter der Elektricität, f. IV, 440.
- Holzparungskunst, f. Heizung III, 738.
- Honigsteinsäure, f. Kohlenstoff IV, 302.
- Horizont III, 880. Weiten, die man von verschiedenen Höhen aus überseht 881. Horizontalebene 881 f. Horizontallinie; Scheinbarer und wahrer Horizont; Arc des Horizontes; Scheitel- oder Vertikalskreis 882. Höhe eines Gestirnes bezogen auf den Horizont 883. Südpunkt, Nordpunkt, Ost- und Westpunkt; Weltgegenden, Cardinalpunkte; Morgen- und Abendweite 883.
- Horizontal-Äquatorparallaxe, f. Parallaxe V, 133.
- Horizontalebene, f. Horizont III, 881, Ebene II, 384, Schwere V, 795; Niveliren V, 71.
- Horizontale Verbreitung von Hoch- und Tief- land, f. Berg I, 770.
- Horizontallinie III, 882.
- Horizontalparallaxe, f. Parallaxe V, 132 f.
- Horizontalprojection, f. Projection V, 487.
- Horizontaluhr, f. Sonnenuhren VI, 29.
- Horn (musikalisches Instrument), f. Ton VI, 430 f.
- Hornblendegestein (Hornblendeschiefer), f. Berg I, 783.
- Hornbassel, f. Rad an der Welle V, 373.
- Hornhaut, f. Sinne V, 914.
- Hornsilber, f. Silber V, 889.
- Horopter, f. Sinne V, 926, Sehen V, 836.
- Hoyer, f. Rammme V, 880.
- Hügel, f. Berg I, 763.
- Hühnerblindheit, f. Sinne V, 938.
- Hüttenrauch, f. Arsenik I, 339.
- Hufeisenmagnet, f. Magnetismus IV, 749, 750, Elektromagnetismus II, 794 ff.
- Hummocks, Höcker der Eisberge, f. Eis II, 609.
- Humus, f. Ackererde I, 103.

- Humusfohle, Humusfäure, f. Ackererde I, 107.
- Hundegefränge, f. Eisenbahn II, 639.
- Hungerquellen, f. Quelle V, 373.
- Hurrican, f. Winde VI, 991 (Anmerk).
- Hyacinth, f. Zirkonium VI, 1106.
- Hyperbolisches Manometer, f. Dampfmaschine II, 344.
- Hydraulik (Hydrodynamik), f. Mechanik der Flüssigkeiten IV, 933.
- Hydraulische Gebläse, f. Gebläse III, 488, 492.
- Hydraulische Luftpumpen, f. Luftpumpe IV, 734.
- Hydraulische Presse, f. Presse V, 481.
- Hydraulischer Kalk, f. Calcium I, 920.
- Hydraulischer Wider, f. Stoßheber V, 140.
- Hydrobromsäure, f. Brom I, 917.
- Hydrochlorsäure, f. Chlor I, 960.
- Hydrochansäure, f. Kohlenstoff IV, 317.
- Hydrodynamik, f. Mechanik der Flüssigkeiten IV, 933.
- Hydroelektrische Ketten, f. Galvanismus III, 317, Säule, galvanische V, 648 ff.
- Hydroelektrifirmaschine III, 884, Elektricität II, 736 f.
- Hydrogengas, f. Wasserstoff VI, 816.
- Hydrohie, f. Hydrologie III, 886.
- Hydroiod, f. Iod IV, 123.
- Hydrologie III, 886.
- Hydrometeore, f. Meteorologie IV, 1031, Regen V, 382, Schnee V, 744, Nebel V, 37, Wolken VI, Thau VI, 267, Hagel III, 676, Gewitter III, 360.
- Hydrometer, f. Aräometer I, 278, 282, Gewicht III, 331, Ströme VI, 133.
- Hydrometrische Schnellwaage, f. Ströme VI, 137.
- Hydrometrischer Flügel, f. Anemoskop I, 199 ff., Ströme VI, 133.
- Hydrometrisches Pendel, f. Ströme VI, 136.
- Hydrophan (wird durch Eindringen von Wasser durchsichtig), f. Porosität V, 47; Absorption I, 41.
- Hydrostatik, f. Statik VI, 83 f.
- Hydrostatische Lampen, f. Lampe IV, 409, 411 f.
- Hydrostatische Wage, f. Gewicht III, 348, Wage VI, 774, Statik VI, 93 f.
- Hydrostatische Presse (Real'sche), f. Presse V, 486.
- Hydrostatischer Telegraph, f. Telegraphie VI, 227.
- Hydrostatisches Manometer, f. Monometer IV, 881.
- Hydrotachometer (Tachometer), f. Ströme VI, 137.
- Hydrothionige Säure, f. Schwefel V, 783.
- Hydrothionsäure, f. Schwefel V, 783.
- Hyetometer, f. Regenmesser V, 622.
- Hygrometer III, 886. Hygroscopische Substanzen 887. Die chemische Methode 888. Die Methode der Condensation 889 bis 895. Daniell'sches Hygrometer 890. Abänderung desselben durch August 892. Untersuchungen von Regnault 893. Condensationshygrometer von Regnault 894. Die Methode des Psychrometers 895 bis 906. Psychrometer von August 896. Formeln 897 — 899. Psychrometrische Tafel 900 f. Beispiel 902. Formeln nach August 902. Hülfstabellen 902. Gewicht des in einem Cubikraum Luft enthaltenen Wasserdampfes 903. Untersuchungen von Regnault über das Psychrometer 904 ff. — Hygroscopie 906—913. Marienrose, Samenkorn vom Storchschnabel, Granne des wilden Hafers, des Federgrases ic. 907. Saitenhygrometer oder holländisches Hygrometer 907 f. Schwammhygrometer 908 Holz und gewisse Schiefersteine als hygroscopische Substanz 908 f. Federkiel, Mahagoniholz, Strohpapier 910. Fischbeinhygroscop 910.
- Hygrometrischer Zustand der Atmosphäre, f. Feuchtigkeit der Atmosphäre (im Reg.)
- Haarhygroscop 912—913.
- Hygroscop, f. Hygrometer III, 886, 906.
- Hygroscopische Körper (Substanzen) f. Hygrometer III, 887, 906 ff.
- Hypersthen, f. Augit I, 372, Berg I, 784.
- Hypermecilion (Unterstützungs- und Drehpunkt des Hebels), f. Hebel III, 707, Statik VI, 75 f.
- Hyposulfarseniten, f. Arsenik I, 360.
- Hypothese, f. Naturwissenschaft V, 32.
- Jährliche Gleichung, f. Mond IV, 1112.
- Jährliche Parallaxe, f. Parallaxe V, 132, 138.
- Jahr IV, 1. Tropisches Jahr, siderisches Jahr, anomalistisches Jahr 2. Schaltjahr; julianische Zeitrechnung 3. Gregorianischer Kalender; neuer Stil, alter Stil 4. Mondenjahre 5.
- Jahrbücher, astronomische, f. Ephemeriden II, 856.
- Jahreszeiten III, 6. Astronomische 6 bis 7. Meteorologische Jahreszeiten 7 f.
- Jalappenharz, f. Harze III, 703.
- Jaspach, f. Achat I, 101.
- Javell'sche Lauge, f. Kalium IV, 203 f.
- Identische Reithautstellen; f. Sinne V, 923.
- Idioelektrische (selbstelektrische) Körper, die durch Reiben elektrisch werden, f. Elektricität II, 745 f.

Almenium, s. Metalle IV, 1029, Tantal VI, 212.

Imaginärer (eingebildeter, scheinbarer negativer) Brennpunkt, s. Brennpunkt I, 910, Linsenglas IV, 348 ff., Spiegel VI, 33.

Immerwährender Kalender, s. Kalender IV, 188, 191.

Impulsoria, s. Eisenbahn II, 666.

Incrustationen, s. Kesselstein IV, 246.

Incrustirende Quellen, s. Quelle V, 363.

Indictionscyclus, s. Cyclus I, 1017.

Indifferentes Gleichgewicht, s. Statif VI, 82.

Indifferenzlinie eines Magnets, s. Magnetismus IV, 746.

Indirectes Sehen, s. Sinne V, 923.

Indischer Ocean, s. Meer IV, 979.

Induction, elektrische IV, 8. Erscheinung 8 f. Inducirte (secundäre, temporäre) Ströme, inducirende Ströme 9. Regel bezüglich der Richtung des inducirten Stromes 9 f. Eigenschaften der inducirten Ströme 10 (s. auch Strom, elektrischer IV, 197). Induction durch den Schließungsstrahl einer Leidener Flasche oder Batterie 10 ff. Induction durch den Magnetismus 12. Magnetelektrische Ströme. Richtung derselben 13. Inducirter Strom in Multiplicatorgewinde (durch Bewegung der Magnetnadel) 13. Dämpfung der Schwingungen einer Magnetnadel 14. Elektrische Ströme in einer rotirenden Kupferscheibe unterhalb einer freibeweglichen Magnetnadel 14 ff. Elektrische Ströme durch Rotation eines Magneten um seine Axe 16. Bipolare und unipolare Induction (s. auch Magnetoelectricität IV, 842). Anwendung des vorübergehenden, durch Vertheilung hervorgerufenen, Magnetismus des weichen Eisens 17. Funkenenerzeugung durch magnetelektrische Ströme 18. Induction elektrischer Ströme durch den Erdmagnetismus 19. Weber's Inductions-Inclinatorium 20 f. (s. auch Neigung der Magnetnadel V, 33). Gesetze, nach denen sich die Stärke des durch den Magnetismus inducirten Stromes richtet 22—24. Verstärkung gewisser Wirkungen des Inductionsstromes durch einen in der Drahtrolle befindlichen Eisenstab, und besonders durch ein Bündel von Eisendrähten 24 f. Versuche von Dove hierüber 25 ff. Dove's Differential-Inductor 27. Extreme bezüglich der Unterschiede zwischen eisernen Stäben und eisernen Drahtbündeln 29. So genannte unmagnetische Metalle 30. Induction des Schließungsdrahtes einer galvanischen (volta'schen) Kette auf sich selbst

31. Extrastrom (Extra current), Gegenstrom 31 ff. Versuche von Magnus 32. Nachweisung der Wirkung des Extrastromes durch Faraday 32 f. Induction des Schließungsdrahtes auf sich selbst bei Entladung einer Leidener Flasche; Versuche von Dove 33. Unterscheidung zwischen Nebenstrom und Gegenstrom 34. Inductionsmaschinen 35. Magnetelektrische Maschine von Störmer 36 ff. Maß für die Wirksamkeit magnetelektrischer Maschinen 41 f. Vergleichung der Wirksamkeit verschiedener (verartiger) Maschinen 42. Untersuchungen über die magnetelektrischen Maschinen von Sindeben 43. Freie Spannungselectricität durch Isolirung der magnetelektrischen Maschine 44 (s. auch Magnetelectricität IV, 843 f.). Volta's Inductionsapparat von Rees 44 ff. Inductionsströme durch die Schwingungen eines magnetisirten Stahlstabes 46 f. Gebrauch des Weber'schen Elektrodynamometers zur Bestimmung der Dauer momentaner Ströme 47. — Weber's Zurückführung der Grundgesetze der Inductionsercheinungen auf die Grundgesetze der Elektrizität und Elektrodynamik 47—53. — Theoretische Andeutungen 53—55 (s. Weiteres im Art. Magnetismus IV, 797 ff., 801—808).

Induction elektrischer Ströme in tropfbaren Flüssigkeiten, s. Magnetelectricität IV, 844.

Induction elektrischer Ströme durch Torsion von Eisenstäben, s. Magnetelectricität IV, 845 f.

Inductionsfunken, s. Induction, elektrische IV, 17 f., 31 f.; Wärmewirkung tiefer Funken, s. Wärme VI, 246.

Inductions-Inclinatorium Weber's, s. Induction, elektrische IV, 20, Neigung der Magnetnadel V, 33.

Inductionsrolle (Inductionsspirale), s. Induction, elektrische IV, 8 ff., 18, 32, 36; Inductionsrolle am Rees'schen Apparate 44 f. (s. auch Magnetelectricität IV, 846).

Inductionsstrom (inducirter Strom), s. Induction, elektrische IV, 8 ff., Strom, elektrischer VI, 193—197.

Inductive Methode, s. Naturwissenschaft V, 26.

Inflection oder Diffraction oder Beugung IV, 55. A. Inflection des Schalles 56. B. Inflection des Lichtes 57. Versuche von Grimaldi 57 bis 59. Untersuchungen von Newton 59, von Young, Fresnel, Poisson, Arago, Fraunhofer 60, von J. Herschel 61.

- Schwerd's Ableitung der Erscheinungen aus den Principien der Undulationstheorie des Lichtes 61 f. Beugung durch eine Spalte 62—64. Parallelogrammartige Oeffnung 64. Spectra zweiter, dritter Klasse etc. 63. Länge der Lichtwellen 63 f. Lichtbeugungsphänomene im leeren Raume 66 f. Beispiele von gewöhnlich vorkommenden Beugungsphänomenen 67 f. Mas thematische Entwicklung der Beugungs phänomene nach der Undulationstheorie des Lichtes 68—82. C. Inflexion der Wärme 83—83.
- Inflexion der Wasserwellen, s. Wellenbewegung VI, 892.
- Inferioskop, s. Chromadot I, 969, Inflexion IV, 68.
- Injectionen, anatomische, s. Fäulniß III, 3.
- Injectionshahn, s. Dampfmachine II, 233, 369.
- Inklination, s. Neigung der Magnetnadel V, 43.
- Inklinatorium IV, 83. Inklinationsbeuße 86. Gebrauch des Inklinatoriums 87 ff. Bestimmung der Inklination (Neigung) 90, 93, 93.
- Inkrustirende Quellen, s. Quelle V, 363.
- Innere Dispersion, s. Zerstreung des Lichtes VI, 1061.
- Inneres der Erde, s. Geologie III, 317 f., 339 f.
- Insecten, Fliegen derselben, s. 283 f.; — summender Ton derselben, s. Ton VI, 419.
- Inseln, s. Erde II, 913 f.
- Inselflima, s. Klima IV, 266 ff.
- Inselation, s. Licht IV, 490.
- Instrumente, s. Apparat I, 244.
- Instrumente, musikalische, s. Ton VI, 427 ff.
- Intaglio, s. Galvanoplastik III, 388.
- Integrirende Molecüle, s. Krystall III, 379.
- Intensität des Lichtes (verschiedener Lichtquellen), s. Photometer V, 273 ff.; Intensität der Farben des Spectrums, s. Farbe III, 27 ff.; Intensität des Lichtes im Sinne der Undulationstheorie, s. Licht IV, 322, Inflexion IV, 73 f., Intensität des elektrischen Lichtes, s. Mikroskop IV, 1073; Intensität des Schalles, s. Schall V, 709 f., Wellenbewegung VI, 920 f.
- Intensität des Magnetismus, s. Magnetismus IV, 762—779; Intensität des Erdmagnetismus, s. Magnetismus der Erde IV, 809, 812 ff., 813 ff., 823 ff., 827 f., Magnetometer IV, 834; Intensität des elektrischen Stromes, s. Strom, elektrischer VI, 163 ff. Intensität der Schwere, s. Schwere V, 792 ff.
- Intensität des Nordlichts, s. Nordlicht IV, 89.
- Interferenz IV, 97. A. Interferenz auf der Oberfläche eines Mediums 97—100 (s. auch Wellenbewegung VI, 889). B. Interferenz im Innern eines Mediums 100—114. a) Interferenz des Schalles 101—109. Stöße, Combinationston 103 (s. auch Ton VI, 396). b) Interferenz des Lichtes 109—114.
- Interferenzfarben, s. Inflexion des Lichtes IV, 37 ff., 67 (Interferenz IV, 109 ff.), Farbenringe III, 36, Polarisation des Lichtes V, 437.
- Interferensioskop, s. Interferenz IV, 98.
- Interferenzprisma, s. Interferenz IV, 111 f.
- Interferenzspiegel, s. Interferenz IV, 109.
- Intermittirende Fontaine, s. Springbrunnen VI, 66.
- Intermittirende Quellen, s. Quelle V, 363 f.
- Intermittirende Winde, s. Winde VI, 969.
- Intervalle, musikalische, s. Ton VI, 382.
- Inversor, Gyrotrop IV, 114. Gyrotrop von Kohl 113. Inversor von Boagendorff 116. Knorr's Tastengyrotrop 119. — Vergl. Commutator I, 981.
- Joch, s. Berg I, 779.
- Jod (Jodine) IV, 121.
- Jodarsenik, s. Arsenik I, 361.
- Jodchlorid, s. Jod IV, 124.
- Jodchlorür, s. Jod IV, 124.
- Jodcyan, s. Kohlenstoff IV, 319.
- Joddämpfe zu Fraunhofer's Linien, s. Farbe III, 26.
- Jodgalvanometer, s. Multiplikator IV, 1133.
- Jodide, s. Jod IV, 124.
- Jodige Säure, s. Jod IV, 123.
- Jodkalium, s. Kalium IV, 208.
- Jodmetalle, s. Jod IV, 124, und die einzelnen Metalle.
- Jodsäure, s. Jod IV, 122.
- Jodüre, s. Jod IV, 124.
- Jodphosphor, s. Jod IV, 124.
- Jodstickstoff, s. Jod IV, 123.
- Jodwasserstoff, s. Jod IV, 123.
- Johanniswürmer (Johanniswürmchen), sein Leuchten, s. Licht IV, 307 f.
- Iridium IV, 125.
- Iridiummoor, s. Iridium IV, 127.
- Iridiumsesquichlorid, s. Iridium IV, 127.
- Iridiumsesquichlorür, s. Iridium IV, 127.
- Iridiumsesquioryd, s. Iridium IV, 127.
- Iridiumsesquiorydul, s. Iridium IV, 127.
- Iris, s. Sinne V, 914.
- Irisirende Knöpfe, s. Inflexion IV, 67.
- Irischer Kanal, s. Meer IV, 988.
- Irradiation IV, 127. Darstellung des

Phänomens 127. Dasselbe ist ein längst bekanntes 128. Erklärung von Kepler, Galiläi, Cassendi 128 f. Ocular-Irradiation 129 ff. Plateau's Untersuchungen 130 ff. Irradiation bei astronomischen Instrumenten 131. Neuere Untersuchungen 132—137.

Zonen, f. Galvanismus III, 333.

Irrlichter IV, 137—142.

Irrwisch, f. Irrlichter IV, 138.

Isländischer Doppelspath, f. Brechung des Lichtes I, 892.

Isothermische Linien, f. Atmosphäre I, 322.

Isochimenen, f. Isothermen IV, 168.

Isochromatische Linien, f. Polarisation des Lichtes V, 432.

Isochrene (isochronische) Schwingungen, f. pendel V, 162, 163.

Isochronismus, f. Compensation I, 983.

Isoodynamische Linien, f. Magnetismus der Erde IV, 827.

Isogethermen, f. Quelle V, 336, Erde II, 913.

Isogonische Linien, f. Abweichung, magnetische I, 48, Magnetismus der Erde IV, 823.

Isoklinische Linien, f. Neigung der Magnetnadel V, 46.

Izolatoren, f. Leiter der Electricität IV, 422.

Isoliren, f. Electricität, II, 718.

Isomerie IV, 143.

Isoometrische Perspective, f. Projection V, 488.

Iso-morphismus IV, 144. Verzeichniß gleich krystallisirender Körper 145—146. Charakter isomorpher Körper derselben Gruppe 147 f. Aehnliche Atomvolumen isomorpher Körper 148. Isomorphe Körper im engeren und weiteren Sinne 148. Polymere Isomorphismus 149.

Istirachien, f. Ebbe und Fluth II, 579.

Isoverimetrische Perspective, f. Projection V, 488.

Istrophe Mittel, f. Polarisation des Lichtes V, 434.

Isothermen IV, 149. Mittlere Temperatur des Ortes, Jahres, Monats und Tages 150. Tabellen über den täglichen Gang der Wärme an verschiedenen Orten 151—154. Bestimmungsweisen der mittleren Temperatur des Tages 153 f. Tabelle über die mittlere Jahrestemperatur u. verschiedener Orte 157. Mittlere Temperatur eines Ortes 159. Verfahren von Dove, um die Beobachtungen, welche nur

wenige Jahre umfassen, so zu verbessern, daß sie für Mittelwerthe längerer Zeiträume gelten können 159 f. Bei Entwerfung der Isothermen ist auf die Erhebung der Orte über dem Meeresniveau Rücksicht zu nehmen 161. Wärmeequator 162. Karte der Jahresisothermen 163. Maximum der Wärme 164. Ursachen, welche Störungen in der Gestalt der Isothermen hervorbringen; temperaturerhöhende und temperaturvermindernde Ursachen 166. Gegenden von gleicher mittlerer Jahreswärme sind nicht ohne Weiteres auch dem Klima nach gleich 167. Isochimenen und Isothermen, Monatsisothermen 168 f. Isothermenkarte des Januar 170; Isothermenkarte des Juli 171. Gestaltänderung der Isothermen für Asien, Europa, Amerika 172. Isotherme Fläche 173. Dove's thermische Normalen 173. Wärmeverhältnisse der südlichen Hemisphäre der Erde 174.

Isothermische Linien, f. Isothermen.

Isotheren, f. Isothermen IV, 168.

Judenpach, f. Asphalt I, 363.

Julianische Periode, f. Periode V, 194, Cycus I, 1016.

Jungferquecksilber, f. Quecksilber V, 332.

Juno, f. Planeten V, 344 f.

Jupiter, f. Planeten V, 333 f.

Juraformation, f. Berg I, 796.

Kachelöfen, f. Heizung III, 763.

Kadmium, f. Cadmium I, 918.

Kälte, f. Wärme VI, 613; Kälte durch Verdunstung, f. Verdunstung und Verdampfung VI, 497—506, Eis II, 613.

Kältemischung, Frostmischung IV, 174. Verfahren 175. Verzeichniß brauchbarer Kältemischungen 177 f. Fälle, wo bei dem Vermischen zweier Flüssigkeiten, selbst wenn dabei eine Verdichtung eintritt, eine geringe Temperaturerniedrigung erfolgt 180. Resultate durch Anwendung von Kältemischungen 180 f. Anwendung der Kältemischungen in der Wissenschaft 181. Malapert's Apparat zur Eisbereiung 181 f. Goubaud's Apparat 183. Filhol's Apparat 183 f. Fumer's Apparat 184 (f. Eis II, 613). Eigenthümlicher Vorgang bei der Kältemischung aus Glaubersalz und Salzsäure 184.

Kältere temperirte Zone, f. Klima IV, 277.

Kämme, f. Räderwerk V, 573.

Kaiserlaken, f. Sehen V, 828, Sinne V, 918, 938.

Kaleidophon IV, [185](#); Wellenbewegung VI, 910 ff., [250](#).
 Kaleidoskop, Schöngüder IV, [183](#) bis [188](#).
 Kalender IV, [188](#). Gregorianischer [188](#) f. (s. auch Jahr IV, [1](#) ff.), Sonntagsbuch: habe [189](#). Neumondstage [190](#). Ofterfest [190](#) f. Immerwährender Gregorianischer Kalender [191](#). — Vergl. Cyclos [I, 1016](#), Epakte II, [833](#).
 Kali, f. Kalium IV, 200.
 Kaliber, f. Caliber (im Register).
 Kaliseife, f. Verseifung VI, [514](#), [522](#).
 Kalium IV, [192](#). Vorkommen in der Natur [192](#) f. Darstellung [194](#) ff. Aegendes Kali, Aegkalilauge [200](#). Kohlen-saures Kali (Pottasche) [202](#) ff. Doppelt kohlen-saures Kali [204](#). Salpetersaures Kali, Salpeter [204](#) f. Schwefelsaures Kali [205](#). Chromsaures Kali (s. [I, 968](#)). Unter-chlorigsaures Kali [205](#). Chlor-saures Kali [206](#). Kieselsaures Kali, Wasserglas [206](#) f. (s. auch Natrium V, [17](#)). Giffigsaures Kali (s. II, [932](#)), saures weinsteinsaures Kali [207](#). Saures oxalsaures Kali, Sauer-sleesalz; saures zuckersaures Kali; Chlor-kalium; Jodkalium; einfach Schwefelkalium [208](#). Fünffach Schwefelkalium; Cyan-kalium [209](#). Schwefelcyankalium, Rhodan-kalium [210](#).
 Kaliumoxyd, f. Kalium IV, [200](#).
 Kaliumoxydhydrat, f. Kalium IV, [201](#).
 Kalumpalladiumchlorür, f. Palladium V, [123](#).
 Kaliumplatinchlorid, f. Platin V, [390](#).
 Kaliumplatincyanür, f. Platin V, [392](#).
 Kaliumsuboxyd, f. Kalium IV, [200](#).
 Kaliumsuperoxyd, f. Kalium IV, [200](#).
 Kalk, Kalkerde, f. Calcium [I, 919](#).
 Kalkartige Foßilien, Leuchten derselben, f. Licht IV, [493](#).
 Kalkbrei, f. Calcium [I, 920](#).
 Kalkhydrat, f. Calcium [I, 919](#).
 Kalkkiste, f. Kiste IV, [254](#), [256](#) f.
 Kalkmilch, f. Calcium [I, 920](#).
 Kalksalpeter, f. Calcium [I, 923](#).
 Kalksalze, f. Calcium [I, 922](#).
 Kalkspath, f. Brechung des Lichtes [I, 892](#).
 Kalkstein, f. Calcium [I, 919](#).
 Kalksteinhöhlen, f. Höhlen III, [833](#), [843](#).
 Kalmesweilchen, f. Zink VI, [1082](#).
 Kaltbrüchiges Eisen, f. Eisen II, [626](#).
 Kalte Schläge, f. Gewitter III, [574](#).
 Kaltwasserpumpe, f. Dampfmaschine II, [369](#).
 Kamine, Kaminheizung, f. Heizung III, [755](#) f.

Kamm, f. Berg [I, 773](#).
 Kammer, leere, f. Barometer [I, 633](#).
 Kammer, helle (camera clara), f. Camera obscura [I, 933](#).
 Kammer, dunkle, f. Camera obscura [I, 933](#).
 Kammer, lichte, f. Camera lucida [I, 929](#).
 Kammrad, f. Räderwerk V, [575](#).
 Kampher, Bewegung desselben auf Wasser oder Quecksilber, f. Adhäsion [I, 114](#).
 Kaolin, f. Berg [I, 783](#).
 Kanalheizung, f. Heizung III, [768](#).
 Kanalwaage, f. Niveliren V, [72](#).
 Kanarienglas, f. Zerstreuung des Lichtes VI, [1060](#).
 Kanonengut, f. Kanonenmetall.
 Kanonenkugeln, Bewegung derselben, siehe Wurfbewegung VI, [1029](#) ff., [1035](#) ff. Mechanik der Flüssigkeiten IV, 971 f.
 Kanonenmetall, f. Kupfer IV, [404](#).
 Kanonenöfen, f. Heizung III, [764](#) f.
 Kante, f. Krystall IV, [359](#).
 Kantenwinkel, f. Krystall IV, [360](#).
 Kappenliederung, f. Pumpe V, [500](#).
 Kapselbarometer, f. Barometer [I, 636](#).
 Karat, Karatirung, f. Gold III, [631](#).
 Karfunkel, f. Licht IV, [489](#).
 Karthäuserpulver, f. Antimon [I, 238](#).
 Kaspi-sches Meer, f. Seen V, [822](#).
 Kasten-gebläse, f. Gebläse III, [490](#).
 Kastenventil, f. Dampfmaschine II, [349](#).
 Kata-kastische Linien, f. Brenntlinie [I, 909](#).
 Katarakten, f. Ströme VI, [139](#).
 Katarakt bei Dampfmaschinen, f. Dampfmaschine II, [364](#).
 Kathode, f. Galvanismus III, [333](#).
 Katoptrik, f. Optik V, [97](#).
 Katoptrische Anamorphosen, f. Anamorphose [I, 173](#).
 Katoptrische Fernröhre, f. Fernrohr III, [105](#).
 Katoptrisches Mikroskop, f. Mikroskop IV, [1067](#).
 Kaugenaugenharz, f. Harze III, [701](#).
 Kaufblei, f. Blei [I, 832](#).
 Kaufische Linie, f. Brenntlinie [I, 909](#).
 Kaufisches Kali, f. Kalium IV, [200](#).
 Kaufisches Natron, f. Natrium V, [8](#).
 Kautschuk IV, [210](#). Vorkommen [210](#) ff. Verschiedene Sorten, die im Handel vorkommen [213](#). Specifisches Gewicht des künstlichen Kautschuks [214](#). Destillations-producte des Kautschuks [214](#). Verarbeitung des Kautschuks [216](#) f. Auflösung des Kautschuks [218](#) f. Verbindung zwischen Kautschuk und Schwefel [219](#) f.
 Regel, berganlaufender, f. Ebene, schiefe II, [589](#).

Regelförmige Krystalle, f. Krystall IV, 381.
 Regelpendel, f. Pendel V, 173 f.
 Regelprojection, f. Projection V, 489.
 Regelspiegel IV, 222.
 Regelventil, f. Pumpe V, 302, Luftpumpe IV, 715 ff. und Dampfmaschine II, 321.
 Rehralspeter, f. Natrium V, 13, Kalium IV, 203.
 Reil IV, 224. Einfacher und doppelter 224 f. Verhältniß zwischen Kraft und Last 225 ff.
 Reilpresse IV, 228. Presse V, 479 f.
 Reib, f. Natrium V, 10.
 Kern der Kometen, f. Kometen IV, 323.
 Kernformen, f. Krystall IV, 379.
 Kernschatten, f. Schatten V, 712.
 Kessel bei Dampfmaschinen, f. Dampfmaschine II, 321. Locomotive IV, 383, 392. Schiff V, 721.
 Kessel-Explosion IV, 228. Mangel einer hinreichenden Menge von Wasser im Kessel 229. Wachsamkeit des Heizers 229 f. Prüfung der Dampfkessel vor dem Gebrauch 230 f. Sicherheitsventil 231. Kesselstein 231 f. Ansicht von Schafhäutl über Kessel-Explosion 232 f. Knallgas als Ursache der Explosion 234 f. Allmähliche Anhäufung des Dampfes 235. Schutzmittel gegen Explosionen, welche aus einer Ueberlastung des Sicherheitsventils entstehen 236. Scheinbare Abnahme der Elasticität des Dampfes vor den Explosionen, welche durch eine plötzliche Dampfentwicklung herbeigeführt werden; Grörterungen von Perkins 236 ff. Verlangsamung im Gange der Maschine vor der Explosion 238. Reißen der Seitenwände des Kessels in horizontaler Linie 238. Gleichzeitiges Zerspringen mehrerer Kessel, die gemeinschaftlich zur Erzielung einer einzigen Dampfmaschine angewendet werden, und das Zerspringen eines Kessels in freier Luft 238 f. Zweifel gegen die Theorie von Perkins 239 f. Leidenfroß'sches Phänomen 237 f., 240. Ansicht von Jacquemet 240 ff. Ansicht von Genieul 242, von Donny 243. Eindringen der Keßel von Außen 243. Explosionen in offenen Kesseln 243 f. Maßregeln gegen Explosionen 244 f.
 Kerzen, Leuchtkraft derselben, f. Paraffin V, 127.
 Kesselstein, Basier-, Pfannenstein, Incrustationen IV, 246. Mittel zur Verhütung der Incrustationen 247 ff. Absatz beim Eindampfen von Rohrzucker 251.
 Kette, galvanische, volta'sche, f.

Galvanismus III, 316 f., Säule, galvanische V, 648 ff.
 Kette, hydroelektrische, f. Galvanismus III, 317.
 Kettengebläse, f. Gebläse III, 494.
 Kettenlinie, f. Seilmaschine V, 833.
 Kienmayer's Amalgam, f. Amalgam I, 141.
 Kienruß, f. Kohlenstoff IV, 292.
 Kiese, f. Schwefel V, 737.
 Kiesel, f. Silicium V, 894.
 Kieselchlorid, f. Silicium V, 903.
 Kieselerde, f. Silicium V, 897.
 Kieselfluor, f. Fluor III, 290.
 Kieselfluorwasserstoffsäure, f. Fluor III, 290.
 Kieselguhr, f. Silicium V, 900.
 Kieselensäure, f. Silicium V, 897 ff. Isomerische Modificationen der Kieselensäure 901. Wässrige Auflösung der Kieselensäure 901 f.
 Kieselensäure Magnesia, f. Magnium IV, 868.
 Kieseläures Kali, f. Kalium IV, 206.
 Kieseläures Manganoxydul, f. Mangan IV, 871.
 Kieseläures Natron, f. Natrium V, 17.
 Kieselchiefer, f. Berg I, 783.
 Kieselstuf, f. Silicium V, 899.
 Kieselzinkerz, f. Zink VI, 1082.
 Kieselige Kupfererze, f. Kupfer IV, 388.
 Kilogramm, f. Maß IV, 898, 902.
 Kilometer, f. Maß IV, 898, 910.
 Kimmung, f. Lustspiegelungen IV, 736.
 Ritte IV, 251. Verschiedenes über die Anwendung der Ritte 251—254. Leimritze 254—256. Kalkritze 256—258. Oelfitze 258 f. Harzritze 259. Mittel zur Vereinigung und Dichtung gewisser Substanzen 260 f.
 Klasten, f. Maß IV, 903, 906.
 Klang, f. Schall V, 697, Ton VI, 379.
 Klangfiguren, f. Wellenbewegung VI, 901.
 Klapphorn, f. Ton VI, 431.
 Klapptrompete, f. Ton VI, 431.
 Klappventile, f. Pumpe V, 302.
 Klarheit des Bildes im Fernrohr und Mikroskop, f. III, 119, IV, 1063.
 Klarheit des Meerwassers, f. Meer IV, 997.
 Klarheit des Seewassers, f. Seen V, 824.
 Klauenfett, f. Fette III, 141.
 Klebchiefer, dessen Absorption für Gase, f. Absorption I, 40 f.
 Kleesalz, f. Kalium IV, 208.
 Kleinblättriges Gefüge, f. Krystall IV, 383.
 Kleist'sche Flasche, f. Flasche, elektrische III, 243.

- Klima IV, [261](#). Mathematische Klimata; Tafel derselben [261](#) f. Physisches (wirkliches) Klima [263](#). Ursachen der klimatischen Verschiedenheiten [263—266](#). Insel- und Küstenklima [266](#) f. See- und Continentalclima [268](#) f. Klima Nordamerikas [269](#) f. Isothermen des Januar und Juli [270, 271](#). Einfluß der Waldungen auf die Temperatur [272—274](#). Einteilung der Zonen in Bezug auf die Vegetation [275—279](#). Pflanzenwechsel mit der Erhebung über die Oberfläche des Meeres [279](#). Abhängigkeit des Thierreiches vom Boden und Klima [280](#). Krankheiten [280](#) f. — Vergl. Isothermen IV, [149](#). Regen V, [582, 584](#) ff.
- Klingstein, f. Berg I, [783](#).
- Klinogramme, f. Krystall IV, [360](#).
- Klirröne, f. Monochord IV, [1122](#) f.
- Knallbüchse, f. Pistole, elektrische V, [316](#).
- Knallgas, f. Wasserstoff VI, [820](#).
- Knallgasgebläse, f. Gebläse III, [501](#).
- Knallgold, f. Gold III, [630](#).
- Knallluft, f. Knallgas.
- Knallpistole, f. Pistole, elektrische V, [316](#).
- Knallpulver, f. Kalium IV, [206](#).
- Knallquecksilber, f. Quecksilber V, [538](#). Kohlenstoff IV, [316](#).
- Knallsäure, f. Kohlenstoff IV, [316](#).
- Knallsaures Quecksilberoxyd, f. Knallquecksilber.
- Knallsaures Silberoxyd, f. Kohlenstoff IV, [316](#). Silber V, [884](#).
- Knallsilber, f. Knallsaures Silberoxyd.
- Kniefresse IV, [271](#). Presse V, [477](#).
- Knittergold, f. Kupfer IV, [401](#).
- Knochen, f. Calcium I, [923](#). Phosphor V, [203](#).
- Knochenasche, f. Calcium I, [923](#).
- Knochenhöhlen, f. Höhlen III, [842](#) ff.
- Knochenkohle, f. Kohlenstoff IV, [293](#) f., [297](#).
- Knochenmehl, f. Calcium I, [923](#).
- Knochenseife, f. Verseifung VI, [524](#).
- Knöpfe, iristrende, f. Inflexion IV, [67](#).
- Knoten IV, [283](#).
- Knotenlinie, f. Knoten IV, [284](#).
- Knotenlinien (akustische), f. Schall V, [699](#). Wellenbewegung VI, [900](#) ff., Interferenz IV, [106](#).
- Knotenpunkte (Schwingungsknoten) bei Saiten, f. Wellenbewegung VI, [877, 899](#). Ton VI, [395](#). Monochord IV, [1122](#).
- Knotenmonat, f. Monat IV, [1103](#).
- Koaks (Coaks), f. Heizung III, [737](#).
- Kobalt IV, [284](#). Darstellung [285](#). Anwendung des Kobalts zu blauen Farben [287](#) ff.
- Kobaltoryd, f. Kobalt IV, [286](#) f.
- Kobaltorydul, f. Kobalt IV, [286](#) f.
- Kobaltspeise, f. Nidel V, [67](#).
- Kochen, f. Dampf II, [22](#). Sieden V, [861](#) f.
- Kochpunkt, Siedepunkt, f. Sieden V, [861](#) f.
- Kochsalz, f. Natrium V, [18](#).
- Kochsalzquellen, f. Quelle V, [562](#). Natrium V, [18](#).
- Königswasser, f. Chlor I, [962](#).
- Körnerlad, f. Harze III, [703](#).
- Körnerginn, f. Zinn VI, [1094](#).
- Körniges Gefüge, f. Krystall IV, [383](#).
- Körper, f. Krystall IV, [358](#) f.
- Körper mit positiver und negativer Reflexion, f. Polarisation des Lichtes V, [425](#).
- Körpermaße, I. Maß IV, [891](#) ff., [901](#) ff.
- Kohle, f. Kohlenstoff.
- Kohlenchlorid, f. Kohlenstoff IV, [323](#).
- Kohlenchlorür, f. Kohlenstoff IV, [323](#).
- Kohlenoxyd, f. Kohlenstoff IV, [302](#).
- Kohlensäure, f. Kohlenstoff IV, [304](#) f.
- Kohlensäuremæßer, f. Anthracometer I, [233](#).
- Kohlensaure Magnesia, f. Magnium IV, [866](#).
- Kohlensaurer Kalk, f. Calcium I, [922](#).
- Kohlensaures Ammoniak, f. Ammoniak I, [148](#) f.
- Kohlensaures Bleioxyd, f. Blei I, [855](#).
- Kohlensaures Eisenoxydul, f. Eisen II, [618](#). Quelle V, [562](#).
- Kohlensaures Gas, f. Kohlensäure.
- Kohlensaures Kali, f. Kalium IV, [202](#).
- Kohlensaures Kupferoxyd, f. Kupfer IV, [396](#).
- Kohlensaures Manganoxydul, f. Mangan IV, [871](#).
- Kohlensaures Natron, f. Natrium V, [13](#).
- Kohlensaures Nideloxydul, f. Nidel V, [69](#).
- Kohlensaures Quecksilberoxyd und kohlen- saures Quecksilberoxydul, f. Quecksilber V, [535](#) f.
- Kohlensaures Silberoxyd, f. Silber V, [885](#).
- Kohlensaures Wasser, f. Wasserstoff VI, [833](#). Mineralwasser, künstliches IV, [1082](#) f.
- Kohlensaures Wismuthoxyd, f. Wismuth VI, [1004](#).
- Kohlensaures Zinkoxyd, f. Zink VI, [1090](#) f.
- Kohlenstoff IV, [289](#). Diamant, Graphit und gewöhnliche Kohle; nähere Betrachtung des Graphits [290](#) f. Künstliche Darstellung von Kohle aus verschiedenen pflanzlichen und thierischen Stoffen [291](#). Kien-

ruß, chinesische Tusche, Druckerschwärze, Frankfurter Schwarz 292. Holzkohle 292 f. Thierische Kohle 293 f. Schmelzung und Verflüchtigung der Kohle 294. Absorption verschiedener Gasarten durch die Kohle 295. Wärmemengen, welche hierbei frei werden 296. Eigenschaft der Kohle, aus Flüssigkeiten Farbstoffe, Extractivstoffe und riechende Stoffe aufzunehmen 296 ff. Verhalten der Kohle zu Salzlösungen 297 f. Reduction von Metallen aus ihren Lösungen durch glühende Kohle 300. Die Kohle als Gegengift der Alkaloide vorgeschlagen 300. Unveränderlichkeit der Kohle 301. Freiwillige Entzündung der Kohle 301. Verbindungen des Kohlenstoffes mit dem Sauerstoff 302. Honigstein- oder Mellithsäure, Krebensäure, Rhodizonsäure, Mesoxalsäure, Oxalsäure, Kohlenoxyd 302 f. Kohlenensäure 303 — 309. Kohlenwasserstoff 310. Schweres Kohlenwasserstoffgas, ölbildendes Gas, Aetheringas, Glasgas 311 ff. Cyan 313 f. Cyansäure, Knallsäure, Cyanursäure, Cyanilsäure, Cyamelid 316 f. Knallsalze 316. Blausäure 317 ff. Chlorcyan, Bromcyan, Jodcyan 319 f. Nitroprusside 320. Paracyan 320. Schwefelkohlenstoff, Kohlenstoff, Schwefelalkohol 320 ff. Kohlenchlorür, Kohlenchlorid, Kohlensuperchlorid, Kohlensuperchlorür 323. Kohlenmetalle 323. Kohlenstoffoxyd, s. Kohlenoxyd. Kohlenstoff, s. Kohlenstoff IV, 320. Kohlensuperchlorid, s. Kohlenstoff IV, 323. Kohlensuperchlorür, s. Kohlenstoff IV, 323. Kohlenwasserstoff, s. Kohlenstoff IV, 310, 311 ff. Kohlenzinnober, s. Quecksilber V, 332. Kolben (Destillirkolben), s. Destillation II, 469. Kolben (Embolus) bei Dampfmaschinen, s. Dampfmaschine II, 263. (Kolbenhub, Kolbenspiel, Geschwindigkeit des Kolbens 118, 306, 381), Locomotive IV, 590, 597, 619; — Kolben von Pumpen, s. Pumpe V, 490 ff., 497, 500 ff.; — bei Luftpumpen, s. Luftpumpe IV, 715 ff., conische Form desselben 717 f. Koluren IV, 323. Kometen IV, 323. Anzahl der beobachteten Kometen 324. Scheinbare Bewegung 325. Kometenkopf, Kern und Schweif 325 ff. Strahlenschüsse 326. Wahre Größe der Kometen, des Durchmesser des Kerns oder Haars; Länge des Schweifes 327. Licht der Kometen 328. Beschaffenheit des Kerns

327. Atmosphäre der Kometen 327. Schweifbildung 328. Annäherung eines Kometen an die Erde 330 f. Kometenbahnen 331 — 333. Halley's Komet 333 f. Verschiedene andere Planeten 336 ff. Zertheilung eines Kometen in zwei andere 339. Widerstand von Seiten eines Aethers 339 f. Kometensucher, s. Fernrohr III, 117. Konisches Pendel, s. conisches Pendel (im Register). Konisches Rad, s. Räderwerk V, 575. Korallenbänke und Korallenfelsen, s. Meer IV, 989. Korallenerz, s. Quecksilber V, 332. Korffugelektrometer, s. Elektrometer II, 824. Kornregen, s. Regen V, 611 f. Kosmischer Auf- und Untergang, s. Aufgang I, 367. Krämerwage, s. Wage VI, 769 f. Kränze, s. Hof III, 861 f. Kraft, s. Statik VI, 70, Mechanik IV, 952, Mechanische Arbeit IV, 979. Momentankraft; beschleunigende oder continuirliche Kräfte, s. Bewegung I, 810; Maß der beschleunigenden Kraft I, 814, III, 6, 9, V, 792 f. Maß der Kräfte I, 822 ff. Lebendige Kraft, s. Mechanische Arbeit IV, 973, 977. Stoßkraft, s. Bewegung I, 838 ff., Druck II, 531 ff. Stoß des Wassers, s. Mechanik der Flüssigkeiten IV, 955 ff. Centralkräfte, s. Bewegung I, 830. Parallelogramm der Kräfte, s. Bewegung I, 810, Statik VI, 71, Mechanik IV, 953. — Vergl. Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte VI, 1118 ff. Kraft durch Elasticität, Cohäsion, s. Elasticität II, 682. Festigkeit III, 122, Linie, elastische IV, 527. Kraft des Dampfes, s. Dampf II, 21, 86 ff. Dampfmaschine II, 241 f., 285. Locomotive IV, 619. Kraft, elektrische, s. Electricität II, 717, 733 f. Elektrometer II, 823. Strom, elektrischer VI, 163 ff. Kraft, magnetische, s. Magnetismus IV, 743 ff. Kraft, mechanische des Bliges, s. Gewitter III, 572 f. Kraft (Geschwindigkeit) des Windes, siehe Winde VI, 990. Anemoskop I, 186. Krasteinheit, s. Druck II, 533 f., Mechanische Arbeit IV, 973, 977, 979. Kraftmesser, Dynamometer IV, 341. Federdynamometer, Federwagen 341 bis 348. Dynamometer von Regnier 341 f.;

verbessertes 343 f. Dynamometer zur Messung kleiner Kräfte 347. — Kraftmesser für drehende Kräfte 348—350. Dynamometrische Kurbel 348. Prony's Bremsdynamometer 348 f. Verbesserung von Egen 349 f. Bremsdynamometer von Armstrong 350. — Dynamometer zur Bestimmung der absoluten Festigkeit 350. Vorrichtungen zur Prüfung der Festigkeit von Garnfäden und Haaren 351. — Vergl. Dampfmaschine II, 343 ff., Locomotive IV, 605 ff.

Kraftverhältnisse an Maschinen, *f.* Maschine IV, 883 ff., und die einzelnen namhaften Maschinen.

Kraftverhältnisse der Materie, *f.* Materie IV, 928 ff., 938 ff., 942 ff., 946 ff.

Krahn, Kranich, *f.* Räderwerk V, 580.

Krankheiten, Einfluß des Klimas auf dieselben, *f.* Klima IV, 280 f.

Kranz, *f.* Hof III, 861, 862.

Kranzlampen, *f.* Lampe IV, 408.

Krater, *f.* Vulkan VI, 602, Kratertrand, *ebenda.*

Kreideablagerungen, *f.* Vergl. I, 797.

Kreideperiode, *f.* Geologie III, 823 ff.

Kreiseltäder, *f.* Wasserrad VI, 805 f.

Kreislercentrif., *f.* Dampfmaschine II, 351.

Kreisförmige (circulare) Polarisation, *siehe* Polarisation V, 417 ff., 410.

Kreismikrometer, *f.* Mikrometer IV, 1035.

Kreispendel, *f.* Pendel V, 161.

Kreisstrich, *f.* Magnetismus IV, 733.

Krokon säure, *f.* Kohlenstoff IV, 302.

Kronenventil, *f.* Dampfmaschine II, 339.

Kreuzhaspel, *f.* Rad an der Welle V, 573.

Kreuzungspunkt der Sehstrahlen, *f.* Sinne V, 921.

Kreuzungsstelle der Sehnerven, *f.* Sinne V, 915.

Kronrad, *f.* Räderwerk V, 575.

Kronglas, *f.* Glas III, 611.

Krümmung flüssiger Oberflächen, *f.* Haarröhrchenwirkung III, 635 ff.

Krümmungshalbmesser, *f.* Erde II, 877.

Krümmungskreis, *f.* Erde II, 877.

Krummblättriges Gefüge, *f.* Kry stall IV, 383.

Krummlinige Bewegung, *f.* Bewegung I, 820, 826, 830 f., VI, 1126 f.

Krynometer, *f.* Thermometer VI, 300.

Kryophorus, *f.* Verdunstung und Verdampfung VI, 498.

Kry stall IV, 352. A. Kry stallbildung (Kry stallgenie) 353—358. Bedingungen der Kry stallbildung 353 ff. Beobachtung von Lomig 354. Wachsfässer 355. Kry stallbildung durch Erhitzung 355 f. Salz- oder Kry stallhäutchen 355. Mutterlauge

356. Zerknitterungswasser, Kry stallwasser 357. Verwittern (Fatisceiren) der Kry stallen 357. Wärmeentwicklung bei der Bildung der Kry stallen 358. — Ueber die besonderen Erscheinungen, welche die Kry stallisation des Glaubersalzes darbietet, vergl. d. Art. Lösung IV, 649—652. — B. Kry stallbeschreibung (Kry stallographie) 358—386. Allgemeinerer Erklärungen räumlicher Gestalten 358—363. Arten der Kry stallen: Hauptare, Neben- oder Quersaren; Entflächen, Scheitel, Givelfanten, Scheitelflächen, Scheitellanten 361. Gipfelsflächen, Seitenflächen, Seitenlanten, Rantlanten, Rantdecken, Querscheitel, Seiteneden, Nebentanten, Parameter 362. Trimetrische Kry stallen 362. Tetrametrische Kry stallen 363. Grundformen 363—376. Homödrische Formen 362—370. Reguläres Kry stallisationsystem 363—366. Zwei- und einariges System 366. Ein- und einariges System 367. Zwei- und eingliedriges System 368. Ein- und eingliedriges System 369. Drei- und einariges System 369 f. Hemiedrische Formen 370—374. Reguläres System 370. Zwei- und einariges System 373. Ein- und einariges: zwei- und eingliedriges; ein- und eingliedriges; drei- und einariges System 373. — Tetartoedrische Formen 374 ff. Zusammengehörige Flächen: Abänderungsflächen; Abstumpfungen oder Zuschärfungen (Zuspitzungen); gerade und schiefe Abstumpfungsflächen; Zuschärfungsflächen und Zuschärfungskanten 375. Gerade und schiefe Zuschärfungen 376. Zone und Zonenare 376. — Ebenmaßigkeit von Haun 376 ff. Gesetz der Kry stallisationspolarität 378. Blätterdurchgang; regelmäßiges Gefüge 378 f. Hauptdurchgänge; Nebendurchgänge 379. Kernformen; integrierende Moleküle 379. Eingewachsene, aufgewachsene, eingeschlossene, linsenförmige und kugelförmige Kry stallen 381. Hemitropische Kry stallen 382. Zwillingkry stallen, Drillinge, Vierlinge *ic.* 382. Krummblättriges, kleinblättriges, körniges, schuppiges, schaumiges Gefüge 383. Haarförmige, strahlige, nadelförmige, faserige, gestrichelte Kry stallgestalten 383. Pseudomorphosen (Asterkry stallen) 383. Uneigentliche Kry stallen, Modelle 383 f. Zusammenstellung der Mineralien und künstlichen Verbindungen der Elemente nach den Kry stallisationsystemen 384—386.

Kry stall Elektrizität, *f.* Thermo Elektrizität VI, 275.

Kry stallhäutchen, *f.* Kry stall IV, 355.

Kry stallhöhlen, *f.* Höhlen III, 836, 848.

KrySTALLINISCH=MASSIGE Gesteine, f. Geologie III, 312.
 KrySTALLINISCH=Schieferige Gesteine, f. Geologie III, 312 ff.
 KrySTALLISATION, f. KrySTALL III, 352 ff.
 KrySTALLISATIONSSYSTEME, f. KrySTALL IV, 358 ff.
 KrySTALLISIRBARKEIT, f. KrySTALL IV, 353.
 KrySTALLISIRUNG, f. KrySTALL IV, 353.
 KrySTALLINSE, f. Sinne V, 916 f.
 KrySTALLMODELLE, f. KrySTALL IV, 383 f.
 KrySTALLOGENIE, f. KrySTALL IV, 353.
 KrySTALLOGRAPHIE, f. KrySTALL IV, 358.
 KrySTALLWASSER, f. KrySTALL IV, 357, Salze V, 683.
 Kuchen des Elektrophor, f. Elektrophor II, 845 f.
 Künstliche Magnete, f. Magnetismus IV, 758.
 Küste, f. Meer IV, 980.
 Küstenklima, f. Klima IV, 266.
 Kugelförmige KrySTALLe, f. KrySTALL IV, 381.
 Kugelgestalt der Erde, f. Erde II, 870 ff., 875.
 Kugelspiegel, f. Spiegel VI, 30.
 Kugelventile, f. Pumpe V, 502.
 Kunstaugen, f. Sinne V, 938.
 Kupfer IV, 386. Vorkommen und Darstellung desselben 387—390. Verwendung des Kupfers 391 f. Verbindungen des Kupfers mit Sauerstoff 392—394. Kupferoxydsalze 394 ff.; schwefelsaures Kupferoxyd, Kupfervitriol 394; salpetersaures Kupferoxyd 396; kohlensaures Kupferoxyd 396; phosphor. Kupferoxyd; arseniksaures und arsensaures Kupferoxyd 396 f. Eßigsäures Kupferoxyd; Grünspan 397. Verbindungen mit dem Chlor 399. Legirungen 400—406. Messing, Rauschgold, Tombak; Bronze 400 ff. Weitere Verbindungen der Kupferlegirungen in der Technik 403—406.
 Kupferamalgam, f. Rette IV, 261, Kupfer IV, 406.
 Kupferasche, f. Kupfer IV, 391.
 Kupferbeichlag der Schiffe auf galvanoplastischem Wege, f. Galvanoplastik III, 404.
 Kupferbeichlag der Schiffe vor Oxydation geschützt, f. Galvanismus III, 336, Kupfer IV, 392.
 Kupferblüthe, f. Kupfer IV, 392.
 Kupferchlorid, f. Kupfer IV, 399.
 Kupferchlorür, f. Kupfer IV, 399.
 Kupferglanz, f. Kupfer IV, 387.
 Kupferglaserz, f. Kupferglanz.
 Kupferhaltige Quellen, f. Quelle V, 363.
 Kupferhammerschlag, f. Kupfer IV, 393.
 Kupferlasur, f. Kupfer IV, 387.
 Kupfernickel, f. Nickel V, 66.
 Kupferoxyd, f. Kupfer IV, 393.
 Kupferoxydhydrat, f. Kupfer IV, 393.

Kupferoxydul, f. Kupfer IV, 392.
 Kupferschiefer, f. Kupfer IV, 387.
 Kupferschwärze, f. Kupfer IV, 393.
 Kupfersulphuret, f. Kupfer IV, 398.
 Kupfersuperoxyd, f. Kupfer IV, 398.
 Kupfervitriol, f. Kupfer IV, 394.
 Kurzsichtigkeit, f. Sehen V, 833, Sinne V, 937.
 Rhyansirtes Holz, f. Eisenbahn II, 646.

Tabialyfeife, f. Ton VI, 410.
 Labiles Gleichgewicht, f. Statik VI, 81.
 Labium (oberes und unteres), f. Ton VI, 410.
 Lachter, f. Maß IV, 903.
 Labyrinth, f. Sinne V, 930.
 Labyrinth von Creta, f. Höhlen III, 843.
 Lactometer, f. Aräometer I, 353.
 Ladungsselektrometer, f. Elektrometer II, 835.
 Ladungsflasche, f. Flasche, elektrische III, 243.
 Ladungssäule, f. Galvanismus III, 351, Säule, galvanische V, 663.
 Ladungsstrom der elektrischen Flasche, f. Flasche, elektrische III, 237.
 Länge, geographische, f. Breite und Länge, geographische I, 903, Erde II, 874.
 Länge eines Gestirnes, f. Breite und Länge eines Gestirnes I, 904.
 Länge der Planeten in der Bahn, f. Planeten V, 333.
 Länge, elliptische oder wahre, f. Planeten V, 339.
 Länge des Jahres, f. Jahr IV, 1 ff.
 Länge des Periheliums, f. Planeten V, 340.
 Länge des einfachen Pendels, f. Pendel V, 164, 169; Länge des Sekundenpendels V, 164, 181 f., 183.
 Länge von Tag und Nacht, f. Tag VI, 209 f.
 Längenausdehnung der Gebirge, f. Berg I, 767.
 Längenbestimmung, geographische, f. Meridian IV, 1013, 1015 f.
 Längenmaße, f. Maß IV, 892, 894, 896, 901, 907, 910.
 Längenthäler, f. Berg I, 779.
 Längenuhren, f. Chronometer I, 972.
 Läufer, f. Waage VI, 782.
 Lage, geographische, f. Erde II, 894.
 Lagerungsverhältnisse der Gebirgsarten, f. Geognosie III, 508, Geologie III, 509 ff., Berg I, 792, 796.
 Lactometer, f. Lactometer (im Reg.).
 Lampe IV, 406. Argand'sche 407 f. Altalampen, Kranlampen, Sinumbrallampen 408 f. Sturz- oder Flaschenlampen: Schiebelampe 409. Aëronatische Lampen 409, 411. Hydrostatische Lampen 409,

411 f. Carcel'sche Lampe 412. Regulateur- oder Modérateurlampen 413. Liverpools, Frankenstein'sche und Benkle'sche Lampe 413 f. Lampe ohne Docht 415. Lüdersdorff'sche Dampflampe 416. — Vergl. Spirituslampe III, 38.

Lampe, elektrische, s. Feuerzeug III, 184.

Lampe ohne Docht, s. Lampe IV, 415.

Lampe ohne Flamme VI, 477.

Lampengebläse, s. Gebläse III, 499.

Lampenmikroskop, s. Mikroskop IV, 1071.

Lampensäure, s. Verbrennung VI, 477.

Landhose, s. Wasserhose VI, 792.

Landrauch, s. Höhenrauch III, 849.

Landregen, s. Regen V, 601, 610.

Landschaftsachat, s. Achat I, 101.

Landseen, s. Seen V, 821 f.

Landtrombe, s. Wasserhose VI, 792.

Landwinde, s. Winde VI, 967.

Lanthan, s. Metalle IV, 1023, Verwandtschaft, chemische IV, 558.

Lapilli, s. Vulkan VI, 611.

Last, s. Maß IV, 905 f.

Lasurstein, s. Ultramarin VI, 449.

Latente Wärme, s. Wärme VI, 700, Dampf II, 31 ff.

Laterne, magische, s. Zauberlaterne VI, 1050.

Laufrad, s. Rad an der Welle V, 373.

Lauge (Kalilauge), s. Kalium IV, 201.

Laugenprobe, Laugenwaage, s. Aräometer I, 354.

Laugensalz, s. Alkali I, 137, Natrium V, 8.

Laumine, s. Schnee V, 747 f.

Lava, s. Vulkan VI, 610, 611 f.

Lebendige Kraft, s. Mechanische Arbeit IV, 977, Zusammenfügung und Zerlegung der Kräfte VI, 1135.

Lebensluft, s. Sauerstoff V, 691.

Lebensmerkur (mercurius vitae), s. Antimon I, 239.

Lebererz, s. Quecksilber V, 532.

Leberthran, s. Fette III, 141.

Lederhaut, s. Sinne V, 905 f.

Leere, Toricellische, s. Atmosphäre I, 468, Barometer I, 633.

Legirung IV, 418. Abnahme der Temperatur beim Erkalten der Legirungen 419. Freiwillige Erhigung nach einer plötzlichen Erkaltung 420. Verbindungen in bestimmten Verhältnissen beim langsamen Erkalten geschmolzener Legirungen 420 f. Härte, specifisches Gewicht der Legirungen 421. Wärmeentwicklung bei der Verbindung der einzelnen Bestandtheile während des Schmelzens 421. Die Legirungen als Leiter der Elektrizität und Wärme 422. Große Wichtigkeit der Legirungen für die Technik 422.

Lehm, s. Berg I, 788.

Leichte Metalle, s. Metalle IV, 1027.

Leichtes Kohlenwasserstoffgas, s. Kohlenstoff IV, 310.

Leidenfrost'scher Versuch, s. Dampf II, 43 bis 49, Wärme VI, 705—708.

Leidner (Leydner) Blau, s. Kobalt IV, 288.

Leidner (Leydner) Flasche, s. Flasche, elektrische III, 245.

Leinwandmesser, s. Mikroskop IV, 1046.

Leiter der Elektrizität IV, 422. Gute

Leiter, schlechte Leiter (Nichtleiter, Isola-

toren 422. Relativer Unterschied zwischen

Leitern und Nichtleitern. Leitungswider-

stand 423. Ungefähre Prüfung der Isola-

tions- und Leitfähigkeit eines Körpers

423 f. Erste Versuche über die Leitfähig-

keit der Metalle 424. Methode von Har-

ris, Davy und Becquerel sen. 424 f., von

Bouillet 426. Abnahme der Leitfähigkeit

der Metalle mit steigender Temperatur

426 f. Bestimmung des Leitungswiderstan-

des der Metalle durch Rieß 427. Unter-

suchungen von Lenz 427 ff. Formel von Lenz

für die Abnahme der Leitungsfähigkeit der

Drähte bei Zunahme der Temperatur 430

ff. Untersuchungen von G. Becquerel über

das Leistungsvermögen der Metalle bei ver-

schiedenen Temperaturen 432 — 436;

Leistungsvermögen bei höherer Temperatur

434; Aenderung des Leistungsvermögens mit

der Temperatur bei einem und demselben

Metalle 434 ff. Normalmaß bezüglich des

elektrischen Leitungswiderstandes 436 f.

Versuche von J. Müller über die Abhängig-

keit des Leitungswiderstandes der Metalle

von der Temperatur 437; Vergleich des

Leitungswiderstandes mit der Wärmecapa-

zität der Metalle 437 ff. Leistungsvermögen

der Holzkohle, des Diamants, der minera-

lischen Holzkohle, des Anthracit, der Erze

440. Abänderung des Leistungsvermögens

eines Körpers mit der Aggregation seiner

kleinsten Theilchen 440 f. Leitungsfähig-

keit tropfbarer Flüssigkeiten 441 — 453.

Versuche von Marianini, Förstmann und

de la Rive 442, von Pfaff 443. Versuche

von Horsford 443 ff. Zunahme des Lei-

stungsvermögens einer Flüssigkeit mit der

Temperatur 446. Versuche von Becquerel

447 ff., von Hansel 449 ff. Abhängigkeit

des Leistungsvermögens tropfbarer Flüssig-

keiten von ihrer Zersetzbarkeit durch den elek-

trischen Strom 453 (s. auch S. 459).

Manche harte Körper gewinnen Leitungsfähigkeit durch Ueberführung in den tropfbar

flüssigen Zustand 453 f. Leitfähigkeit der

Schwefelmetalle 454. Die Flamme als

Leiter der Elektrizität 454. Unipolare

- Leiter f.; positiv- und negativ-unipolare Leiter 455. Elektromotorisches Verhältniß der Flamme 456. Discussion über das Leitungsvermögen der Flamme zwischen Rieß und van Rees 457 f. Thierische Körper und saftige Pflanzentheile als Leiter der Electricität. Leitungswiderstand des menschlichen Körpers 458. Nichtleiter oder Isolatoren 458—460. Elektrische Leitungsfähigkeit, welche Isolatoren durch Temperaturerhöhung erfahren 459. Leitungsvermögen der Gase 460. Halbleiter 460. Diagonometer 460 f. Ungleiche Leitungsfähigkeit der Krystalle nach ihren verschiedenen Dimensionen 461 f. Leitungsfähigkeit des magnetisirten Eisens 462. Leitungsfähigkeit des Erdkörpers 462 (s. auch Telegraphie VI, 236). Theoretische Betrachtungen über das elektrische Leitungsvermögen 462—437. — Vergl. über die Messung der elektr. Leitungswiderstände Strom, elektrischer VI, 162 ff., 176, 180 ff.
- Leiter der Wärme, f. Wärme VI, 661; Metalle 671, Steine 674, Hölzer 676, Krystalle 677, tropfbare Flüssigkeiten und Gase 678.
- Leitungsfähigkeit, elektrische, f. Leiter der Electricität IV, 422. Leitungsfähigkeit der Metalle IV, 424—440; L. eines und desselben starren Körpers bei verschiedener Aggregation der Theilchen 440 f.; L. tropfbarer Flüssigkeiten 441—454; Leitungsfähigkeit der Flamme 454, 457 f.; L. des thierischen Körpers und der Pflanzen 458 (s. auch Gewitter III, 571 f.); L. der Isolatoren durch Temperaturerhöhung 459; L. der Krystalle 461 f.; L. des Erdkörpers 462 (s. auch Telegraphie VI, 237). Vergl. Leiter der Electricität (im Register).
- Leitungsfähigkeit der Körper für die Wärme, f. Wärme VI, 661—678. Begriffsbestimmung und theoretische Entwicklung 661—666. Versuche von Langberg über die Wärmeleitung in Metallen 666; Versuche von Wiedemann und Franz 667 bis 673. Versuch von Desprez 673. Untersuchung von Angström 673. Relative Leitungsfähigkeit verschiedener Holzarten, von Helmersen 674 ff. Wärmeleitung verschiedener Holzarten 673 f. Contactthermometer 676. Versuch von Franklin und Ingenhousz 677. Wärmeleitung in Krystallen nach verschiedenen Richtungen 677. Wärmeleitungsvermögen tropfbarer Flüssigkeiten und Gase 678.
- Leitungsröhren, f. Röhrenleitungen V, 641 f.
- Leitungsvermögen, f. Leitungsfähigkeit (im Register).
- Leitungswiderstand bei Fortpflanzung der Electricität, f. Leiter der Electricität IV, 422 ff., Strom, elektrischer VI, 162 f.; reducirter Leitungswiderstand VI, 164, 176, 180.
- Lemniscate, f. Polarisation des Lichtes V, 452.
- Lepoa, f. Berg I, 779.
- Leuchten (verschiedener Lichtquellen), f. Licht IV, 480—513, Feuer III, 141, Flamme III, 236, Verbrennung VI, 475 ff.; — Leuchten des Barometers, f. Barometer I, 743, durch Electricität, f. Funke, elektrischer III, 291, Galvanismus III, 319; Electricität II, 718, 739, 749; Leuchten beim Krystallisiren, f. Electricität II, 755; Leuchten des Meeres, f. Meer IV, 997—1000; Leuchten der Pflanzen, f. Licht IV, 504 bis 507; Leuchten lebender Thiere IV, 507 bis 510, todtet 510—512; Leuchten der Augen verschiedener Thiere IV, 513.
- Leuchtende Körper, f. Licht IV, 513.
- Leuchtgas, f. Gasbeleuchtung III, 424.
- Leuchtfaser, f. Licht IV, 507.
- Leuchtkraft, f. Photometer V, 273 ff., 307 f.
- Leuchtsteine, f. Licht IV, 489—504.
- Leuchthürme, f. Brennglas I, 908, Spiegel VI, 54.
- Leidner Blau, f. Leidner Blau.
- Leidner Glasche, f. Leidner Glasche.
- Libelle, Wasserwaage mit Luftblase IV, 465. Dosenlibelle 465, Röhrenlibelle 466 ff. Gleichwerthigkeit der Theile 468 f. Preistabelle 471.
- Libration des Mondes, f. Mond IV, 1109.
- Licht IV, 471. Wirkungen des Lichtes 471 bis 480. Sehen, Farben, Schatten 471 f. Wirkung auf die Pflanzen 472, 475 f. (s. auch Sauerstoff V, 692 f.), auf die Thierwelt 473 f., 476. Chemische Veränderungen durch das Licht 476—480 (s. auch Wärme VI, 658. Anmerk.). Magnetische Wirkung des Lichts 480 (s. das Weitere Magnetismus IV, 758—762). Quellen des Lichts 480—513. Leuchten beim Reiben gleichartiger Stücke desselben Fossils 481 f., beim Reiben fremdartiger Körper aneinander 483 f., beim Feilen, Streichen, Rigen 484. Einfluß der Wärme auf die durch Reibung veranlaßten Lichterscheinungen 485. Leuchten plötzlich stark verdichteter Gase 486. Lichterscheinung bei plötzlicher Ausdehnung der Luft 487 f. Licht durch Druck tropfbarer Flüssigkeiten 488. Phosphorescenz 489—504.

- Leuchtsteine 489 ff. Ungleiches Einfluß der verschiedenen prismatischen Farbstrahlen auf die Hervorbringung der Phosphoreszenz 493 f. Phosphoreszenz durch Wärme 496 f. Phosphoreszenz durch den elektrischen Funken 499 f. Versuche von Draper 503 f. Ursache der Phosphoreszenz 504. Leuchten lebendiger Pflanzen 504 ff., abgestorbener Pflanzen 506 f. Leuchten lebender Thiere 507 f. Leuchtende Seethiere 509 (s. auch Meer IV, 997—1000). Leuchten tochter thierischer Körper 510. Resultate über thierische Phosphoreszenz 510 ff. Leuchten der Augen verschiedener Thiere 513. — Ortliche Erscheinungen im Allgemeinen 513 ff. Geschwindigkeit des Lichts 515 ff. Theorien zur Erklärung der örtlichen Erscheinungen 510 ff. Erklärung des Grundgesetzes der Reflexion nach der Undulationstheorie 523; des Grundgesetzes der Refraction 524. Dispersion des Lichts, Absorption 525. Dispersion des Lichts 526 (s. Zerstreuung des Lichts VI, 1061). — Vergl. Brechbarkeit des Lichts I, 866, Brechung des Lichts I, 872, Dioptrik II, 532, Farbe III, 23, Farbenringe Newton's III, 36, Inflexion IV, 57, Interferenz IV, 109, Optik V, 96, Polarisation des Lichts V, 393, Schatten V, 710, Zerstreuung des Lichts VI, 1059.
- Licht, Aberration desselben, s. Abirrung des Lichts oder Aberration I, 3.
- Lichtabsorption, s. Licht IV, 514 525, Farbe III, 40 ff.
- Lichtbilder, s. Photographie V, 231.
- Lichtbogen, elektrischer, s. Galvanismus III, 320 ff.
- Lichtbrechung, s. Brechung des Lichts I, 872.
- Lichte Kammer, s. Camera lucida I, 929.
- Lichteindruck, Dauer desselben, s. Sehen V, 840 ff.; Photometer V, 301.
- Lichtenberg'sche Figuren, s. Elektrizität II, 755, Funke, elektrischer III, 296 f.
- Lichterscheinung beim KrySTALLISIREN, s. Elektrizität II, 755.
- Lichtmesser, s. Photometer V, 273.
- Lichtschein um den Kopf des Beobachters, s. Hof III, 868.
- Lichtscheue, s. Sinne V, 938.
- Lichtstärke, s. Photometer V, 273 ff., der verschiedenen Farben des Spectrums, s. Farbe III, 27 ff.; Lichtstärke verschiedener farbiger Gläser, s. Photometer V, 288; Lichtstärke im Sinne der Undulationstheorie des Lichts, s. Licht IV, 522, Inflexion IV, 73 f.
- Lichtstrahl, s. Licht IV, 514; Inflexion IV, 69 f.
- Lichtstrahl, einfallender, reflectirter, s. Optik V, 97, gebrochener, s. Brechung I, 873.
- Lichtträger, s. Licht IV, 489.
- Lichtverlust, beim Durchgange des Lichtes durch durchsichtige Körper, s. Photometer V, 306 f.
- Lichtwellen (Aetherwellen), s. Inflexion IV, 69. Länge derselben, s. Farbenringe Newton's III, 79, Inflexion IV, 66.
- Lichtzerstreuung, s. Licht IV, 519, Farbe III, 40 f., Zerstreuung des Lichts VI, 1059.
- Lichtzerstreuungsverhältnisse für verschiedene Substanzen, s. Brechung des Lichts I, 870 f.
- Liederung, s. Pumpe V, 500 f.
- Liegendes, s. Geologie III, 513.
- Linie, s. Aequator I, 110.
- Linie, elastische IV, 527. Analytische Bestimmung 527 ff. Biegemoment 530. Aufgaben 532—536. Weitere Erörterung der elastischen Linie 537—544.
- Linie ohne (Declination) Abweichung, s. Magnetismus der Erde IV, 824.
- Linien, isobaremetrische, s. Atmosphäre I, 522, — isochromatische, s. Polarisation des Lichts V, 432; — isogonische, s. Abweichung, magnetische I, 48, Magnetismus der Erde IV, 823; — isogeothermische, s. Quelle V, 536; — isothermische, s. Isothermen IV, 149; — isodynamische, s. Magnetismus der Erde IV, 827; — isoklinische, s. Neigung der Magnetnadel V, 46; kausische, s. Brennnlinie I, 909; — Fraunhofer'sche, s. Farbe III, 24 f., Brechbarkeit I, 869.
- Linse im Auge, s. Sinne V, 916.
- Linsenförmige Krystalle, s. Krystall IV, 381.
- Einsenglas IV, 544. A. Form der Einsengläser 544 ff. B. Wirkung der Linsen 546—577. Durchgang der Lichtstrahlen durch eine Kugel 546 ff. a) Wirkung der Linsen, wenn das Licht von einem Punkte auf der Axe ausgeht 549—555. b) Wirkung der Linsen, wenn das Licht von einem Punkte außerhalb der Axe ausgeht 555 bis 557. c) Wirkung der Linsen, wenn das Licht von einem Gegenstande ausgeht 557 bis 563. Blendung (Diaphragma), Dehnung einer Linse; Centrirung 563. Wahl des Glases zu den Linsen 565. Bestimmung der Brennweite einer Linse 566 ff. Krümmungshalbmesser der Linsen 568 f.

Definungshalbmesser und Dicke in der Mitte 370. Chromatische Abweichung 371 ff. Gleichrichtliches des Achromatismus 374. Tabelle über Stoffe, welche sich zu achromatischen Apparaten anwenden lassen 375 bis 377. Aplanatische Gläser; orthostopische Oculare 377. Einsekl aus Diamanten und Saphir 377. C. Anwendung der Einseklgläser 378.

Einseklapsel, s. Sinne V, 916.

Eynl und Eynlornd, s. Fette III, 139, Verseifung IV, 316 f.

Liquidification von Gasen, s. Verdichtung der Gase VI, 482.

Eiter, s. Maß IV, 898, 902.

Eithion, s. Lithium IV, 379.

Lithium IV, 378.

Eithon, s. Lithium IV, 379.

Lithonhydrat, s. Lithium IV, 381.

Lithonsalze, s. Lithium IV, 382.

Locatelli'sche Lampe, s. Wärme VI, 618 f.

Locomotive IV, 382. Uebersichtliche Beschreibung der Locomotive 384 — 399. Specielle Grörterung der einzelnen Locomotiventheile 399 — 618. Theorie der Locomotivbewegung 619 — 646. A. Theorie der Dampfwirkung nach Pambour 619 bis 633. B. Die besonderen Erscheinungen in der Bewegung der Locomotive 633 bis 644.

Löschungsmittel, s. Feuer III, 144 ff.

Lösung IV, 647. Dieselbe ist keine rein mechanische Vertheilung eines Körpers in der Flüssigkeit 647 f. Auftreten wirklich chemischer Kräfte bei der Lösung 648. Uebersättigte Lösung 650. Versuche von Löwel mit übersättigter Glaubersalzlösung 650; Temperaturerhöhung bei der Krystallisation 651; Theorie der Krystallisation des Glaubersalzes 651 f.

Löthen IV, 652. Schnellloth 653. Harte Löthungen 654 ff. Löthen mit Leuchtgas 656 f. Sogenannte Löthung durch sich selbst 657 f.

Löthrohr IV, 658. Geschichtliches 658 f. Einrichtung des Löthrohres 660 ff. Mercurirende und oxydierende Flamme 663. Löthrohrapparat 663 f. Hauptreagentien 664 f. Gang der Untersuchung mit dem Löthrohr 665 ff. Tabelle über das Verhalten der wichtigeren Metallornde 667 f.

Löwe'sche Farbenringe, s. Sinne V, 942.

Log, s. Meer IV, 1006.

Loharäometer, s. Aräometer I, 356.

Longitudinale Schwingungen, s. Wellenbewegung VI, 879, 899, 913, 918, 926 f., 938.

Lothrecht, s. Schwere V, 795.

Loupe, s. Mikroskop IV, 1043, 1046.

Lorobromie (Schieflauf), s. Projection V, 489.

Lucifer, s. Planeten V, 331.

Luft, alkalische, urinöse, s. Ammoniak I, 143.

Luft, atmosphärische, s. Atmosphäre I, 432, 464. Druck derselben 463 ff., 471 ff.; Mariotte'sches Gesetz in Bezug auf atmosphärische Luft, s. Gas III, 416 ff.; Gewicht der atmosphärischen Luft, s. Atmosphäre I, 469—472, Gewicht III, 339. — Weiteres, s. Atmosphäre (im Register).

Luftball, Luftballon, Aërostat IV, 669 Montgolfière, Charliere 672. Einrichtung der größeren Charliere 674 f. Steigkraft des Ballons 677 ff. Besondere Erscheinung 682. Vergl. Luftschiffsfahrtskunde IV, 708. — Bezüglich wissenschaftlicher Beobachtungen während verschiedener Luftfahrten, s. Atmosphäre I, 482 f., Wolken VI, 1028 f. Luftelcktricität IV, 691. Luftsviegelung IV, 744.

Luftbehälter der Vögel, s. Fliegen III, 279.

Luftblasen IV, 683.

Luftdruck, s. Luft, atmosphärische (im Reg.).

Luftdruck, mittlerer, s. Atmosphäre I, 316.

Luftdruck, Abnahme desselben mit wachsender Höhe, s. Höhenmessung III, 807 ff.; Atmosphäre I, 480. Einfluß desselben auf die Gasverdichtung in der Kohle, s. Absorption I, 39; — auf die Siedetemperatur, s. Dampf II, 42, Sieden V, 862.

Luftelcktricität IV, 684. Vorrichtungen zum Beobachten 685 — 689, 693 f. Positive Elektricität des heiteren Himmels 689. Beobachtungen von Saussure, Schübler 689 f., von Romas 690, von Biot und Gay-Lussac, von Schübler 691. Elektricität der Luft bei Nebeln 691, bei Niederschlägen 691 f. Schübler's Beobachtungen über den Einfluß des Gewitters auf den Gang des Luftelcktrometers 692 f.; andere Beobachtungen hierüber 693. Beobachtungen der Luftelcktricität auf der Münchner Sternwarte 693 f. Dellmann's Beobachtungen 694 f. Negative Elektricität der Gewitter, des Regens 695. Versuche von Germain 695 f. Verdampfung des Wassers als angebliche Hauptquelle der positiven Luftelcktricität 697 f. Theoretische Betrachtungen 698 — 705. St. Elmsfeuer, Hermesfeuer, Helenenfeuer 705 ff. Wetterlichter bei Schneegestöber, Leuchten herabfallender Schneeflocken 707. Natur

des St. Gimsseuers 708. — Vgl. Gewitter III, 560, 600 f., Wärme VI, 767 f.
 Luftelektrrometer, f. Luftelektricität IV, 683—689, 693 f.
 Lufisferngläser, f. Fernrohr III, 108.
 Luftgütemesser, f. Gudiometer II, 934.
 Luftheizung, f. Heizung III, 768.
 Luftkreis, f. Atmosphäre I, 432.
 Luftleerer Raum im Barometer, f. Atmosphäre I, 463, Barometer II, 633.
 Leuchten des elektrischen Funkens in demselben, f. Funke, elektrischer III, 291. — Vergl. auch Barometer I, 743.
 Luftmanometer, f. Dampfmaschine II, 343.
 Luftmaschinen, f. Wärme VI, 713.
 Luftpresse (Homerghausen'sche), f. Presse V, 486.
 Luftpumpe IV, 713, Hahnlustpumpe 713 f.; Senguerd'scher Hahn 716. Schädlicher Raum 717; gänzliche Beseitigung desselben 717 f. Zweistielige Hahnlustpumpe 718. Graßmann'scher Hahn 719. Ventilustpumpe 720; zweistielige 721. Vabinet'scher Hahn 721 ff. Barometerprobe 724. Bierprobe 723. Theoretische Bestimmung des Grades der Luftverdünnung 725 f. Herstellung eines möglichst vollständigen Vacuum 726. Gebrauch der Luftpumpe zum Verdichten der Luft 727. Apparat zur Ermittlung der Spannkraft der verdichteten Luft 727. Geschichtliches 728 ff. Luftpumpe mit doppelter Wirkung eines Stiefels 730 ff. Luftpumpe mit Scheiben- oder Schieberventil 732. Einfachste Luftpumpe von Ritchie 733, von Buchanan 733 f. Sogenannte Luftpumpe ohne Stiefel 734 f. Verschiedene andere Mittel, um einen luftverdünnten Raum zu erzeugen 735.
 Luftpyrometer, f. Pyrometer V, 322.
 Luftreiniger, f. Ventilator VI, 467, Gebläse III, 491.
 Luftsäure, f. Kohlenstoff IV, 304.
 Luftschiffsfahrtkunde III, 708. Steigkraft des Luftballons, Geschwindigkeit des Aufsteigens 709 (f. auch Luftball IV, 677 ff.), Willkürliche Lenkung 710 ff.; Einfluß des Windes 713 ff.
 Luftschweremesser, f. Barometer I, 634.
 Luftspiegelungen IV, 736. Erscheinungen in der Ebene Nieder-Egyptens 736. Beobachtungen von Voltmann zu Guxhaven, von Viet und Matthien bei Dünkirchen 736 f. Außerordentliche Erscheinungen in England 737. Beobachtungen von Vince 738, von Scoresby 739, von Humboldt und Benpland 739 f. Kata Morgana 740. Beobachtungen von Ju-

rine und Soret am Genfersee 740. Erklärung der Luftspiegelungen 750 ff. Künstliche Darstellung der Erscheinung 741, 742. Brockengeipenst 743. Eine von Buchanan beobachtete Erscheinung 744. Luftspiegelung, beobachtet von W. Elliot während einer Luftschiffahrt 744. — Hof III, 867, Nebel V, 41.
 Luftströme, f. Winde VI, 963 ff.
 Lufttemperatur, f. Thermomen IV, 149 ff., 161, Atmosphäre I, 480.
 Luftthermometer, f. Thermometer VI, 298 f., Ausdehnung I, 616 f.
 Luftventile, f. Dampfmaschine II, 342 f.
 Luftverdichtung, f. Luftpumpe IV, 727, Compressionsmaschine I, 995.
 Luftverdünnung, f. Luftpumpe IV, 715 ff., 726, 733; Grenze der Luftverdünnung 717, 720, 721, 723, 725 f.
 Luftwaage, f. Barometer I, 634.
 Luftwiderstand, Mechanik der Flüssigkeiten IV, 969 ff.; bei den Schwingungen des Pendels, f. Pendel V, 173, 191 f.
 Luftzündler, f. Pyrophor V, 327.
 Luftzug (in Schornsteinen), f. Heizung III, 746 f., 766.
 Luna, f. Silber V, 873.
 Lunisolarpräcession, f. Nachtgleichen V, 4.
 Lunula, f. Linsenglas IV, 345.
 Lutaas, f. Stickstoff VI, 121.
 Lydischer Stein, f. Berg I, 783.

Mäelstrom, Mablstrom, f. Meer IV, 1008.
 Mäuferegen, f. Regen V, 613.
 Magazin, magnetisches, f. Magnetismus IV, 750.
 Magdeburg'sche Halbfugeln, f. Atmosphäre I, 473.
 Magerer Kalk, f. Calcium I, 920.
 Magie, natürliche, f. Zauberkunst, natürliche VI.
 Magische Laterne, f. Zauberlaterne VI, 1030.
 Magistrall, 143.
 Magnesia, f. Magnium, IV, 866.
 Magnesium, f. Magnium IV, 863.
 Magnesiumchlorür, f. Magnium IV, 868.
 Magnet, ceylon'scher, f. Thermoelektricität VI, 275.
 Magnet, f. Magnetismus IV, 745 ff.
 Magnetare, f. Are I, 653.
 Magneteisenstein, f. Magnetismus IV, 743, Eisen II, 619.
 Magnetische Abweichung, f. Abweichung, magnetische.
 Magnetische Are (Magnetare), f. Are I, 653.

Magnetische Aere der Erde, s. Aere [I](#), [653](#).
 Magnetismus der Erde [IV](#), [822](#).
 Magnetische Flüssigkeiten, s. Magnetismus [IV](#), [800](#).
 Magnetische Körper, s. Magnetismus [IV](#), [785](#), [788](#) f.
 Magnetische Kräfte, Wirkungsgesetze derselben, s. Magnetismus [IV](#), [762](#) ff.
 Magnetische Pole, s. Magnetismus [IV](#), [743](#) ff., [748](#).
 Magnetische Pole der Erde, s. Magnetismus der Erde [IV](#), [809](#) f., [816](#), [821](#).
 Magnetische Vertheilung, s. Magnetismus [IV](#), [746](#) f.
 Magnetischer Aequator, s. Aequator, magnetischer [I](#), [119](#), Neigung der Magnetnadel [V](#), [46](#).
 Magnetischer Meridian, s. Magnetismus der Erde [IV](#), [808](#).
 Magnetisches Declinatorium, s. Declinatorium [II](#), [461](#), Magnetometer [IV](#), [846](#) ff.
 Magnetisches Magazin, s. Magnetismus [IV](#), [730](#), [734](#).
 Magnetisches Moment, s. Magnetismus [IV](#), [770](#).
 Magnetisches Pyrometer, s. Pyrometer [V](#), [825](#) f.
 Magnetisches Ungewitter, s. Nordlicht [V](#), [93](#).
 Magnetisiren, Magnetisirung, s. Magnetismus [IV](#), [746](#) ff., [750—762](#), [778](#),
 Magnetsiren von Stahlnadeln durch das Sonnenlicht [758—762](#). Magnetisiren durch den galvanischen Strom, s. Elektromagnetismus [II](#), [793](#) f. Magnetisiren von Stahlnadeln durch den Entladungsstrom der Leydener Flasche, s. Flasche, elektrische [III](#), [264](#) f.; — s. auch Induction, elektrische [IV](#), [26](#) f.
 Magnetismus [IV](#), [743](#). Grunderscheinung [745](#) f. Gleichnamige und ungleichnamige Pole; Abstoßung und Anziehung [746](#). Gesetz der magnetischen Vertheilung [746](#) f. Coercitivkraft [746](#). Folgepunkte [748](#). Hufeisenmagnete [749](#). Gesättigte Magnete [749](#). Armatur natürlicher Magnete [749](#). Magnetisches Magazin [730](#). Magnetisirung des Stahles durch Streichen [730—734](#). Einfacher Strich; Doppelstrich [731](#). Anwendung des Doppelstriches bei hufeisenförmigen Stäben [732](#). Methoden von Hoffer und Mohr [732](#) f. Kreisstrich [733](#) f. Kraft magnetischer Magazine [734](#). Tragkraft eines Magnetstabes u. Wirkung in die Ferne [734](#); Versuche von Häcker [734](#) f. Kräftige Stahlmagnete von Logeman [735](#) f. Einfluß der Beschaffenheit des Stahles auf die Stärke und Dauer des Magnetismus [736](#) f. Transversalmagnet [737](#). Soge-

nannte künstliche Magnete [738](#). Erwärmung als ein Mittel, um das Magnetisiren durch Streichen zu befördern [738](#). Angebliches Magnetsiren durch Sonnenlicht [738—762](#). Wirkungsgesetze magnetischer Kräfte [762](#) ff. Oscillationsmethode [762](#) f. Gebrauch der Coulomb'schen Drehwaage [763](#) f. Gesetz der Totalwirkung eines Magnets auf den Pol eines anderen [763](#) ff. Gesetz der Abnahme der Intensität des freien Magnetismus von den Enden eines Magnetstabes gegen die Mitte hin; Intensitätscurve [769](#) f. Magnetisches Moment [770](#) f. Vertheilung des Magnetismus in zwei gleichen, mit den ungleichnamigen Polen sich berührenden Magneten [771](#). Geometrische Construction des Sages, daß die Wirkung eines Magnetstabes auf eine entfernte Magnetnadel seinem magnetischen Moment direct und der dritten Potenz der Entfernungen umgekehrt proportional ist [772](#) f. Drehungsmoment [773](#) f. Einheit des freien Magnetismus [773](#). Schwingungsdauer einer Magnetnadel [773](#) f. Häcker's Formel für die Schwingungsdauer geradliniger Magnetstäbe [776](#) f. Intensität des Magnetismus an verschiedenen Punkten eines Magnets [778](#). Einfluß der Wärme auf den Magnetismus [779—782](#). Einfluß mechanischer Wirkungen auf den Magnetismus [782](#) f. (s. auch Magnet-electricität [IV](#), [843](#) f.). — Wirkksamkeit des Magnetismus auf alle Körper; Versuche Coulomb's, Seebeck's, Becquerel's [784](#); Versuche Brugmann's und Faraday's [785](#). Diamagnetische und paramagnetische Körper [785](#). Versuche über Diamagnetismus [785](#) ff. Axiale und äquatoriale Stellung [786](#). Vergleichung der Intensität des Magnetismus verschiedener Substanzen [787](#) ff. Intensität des Diamagnetismus verschiedener Substanzen [790](#) f. Die magnetische und diamagnetische Eigenschaft von Flüssigkeiten erkennbar an einer eigenthümlichen Gestaltsveränderung derselben [791](#). Diamagnetismus gasförmiger Körper [792](#) f. Einfluß der Temperatur auf den Diamagnetismus. Einfluß der Umgebung auf Anziehung und Abstoßung [793](#). Verhalten der Krystalle zwischen den Magnetpolen [793—796](#). Einfluß des Magnetismus auf die Richtung eines polarisirten Lichtstrahles [797](#) (s. Polarisation des Lichtes [V](#), [421](#)). Theorie der magnetischen u. diamagnetischen Erscheinungen [797—808](#).
 Magnetismus der Erde [IV](#), [808](#). Declination, Inklination der Magnetnadel [808](#) f. Sonstige Erscheinungen, die auf die Existenz einer erdmagnetischen Kraft

hindeuten 809. Magnetischer Nord- und Südpol 809 f. Arbeit von Gauss bezüglich des Erdmagnetismus 812—823. Magnetische Kraft und deren Componenten 813 f. Horizontaler Theil der erdmagnetischen Kraft 814 f. Magnetische Pole der Erde 816. Allgemeinerer Aufgabe 817 f. Nur zwei magnetische Pole auf der Erde 821. Magnetische Are der Erde 822. Vertheilung des Magnetismus im Innern der Erde 822. Linien gleicher Abweichung (isogonische Linien) 823; Linie ohne Declination 824. Periode der täglichen Variationen der Declination 825. Intensität des Erdmagnetismus 825 ff. Tafel der sogenannten magnetischen Constanten 829 bis 832. Tägliche Bewegung der Horizontal-Intensität zu München 833 ff. Thermoelektrische Ströme als Ursache des Erdmagnetismus 836 f. Lamont's Ansicht 837 f. Faraday's Ansicht 839 f. Die Ursache der Erscheinungen des Erdmagnetismus kann nicht ausschließlich außerhalb der Erde liegen 841. Einfluß der Wärme auf den Erdmagnetismus 841 f. Verschiedene Fragen 842. — Abweichung, magnetische I, 82, Neigung der Magnetnadel V, 45, Magnetometer IV, 846.

Magnetfies, f. Eisen II, 621.

Magnetnadel, Ablenkung derselben I, 6; Abweichung (Declination) I, 82, Neigung (Inclination) V, 45. Ablenkung derselben durch den elektrischen Strom, f. Elektromagnetismus II, 781 f. Flasche, elektrische III, 263.

Magnetelektricität IV, 842. Reciprocität der elektromagnetischen und magnetoelektrischen Erscheinungen 842 f. Zur Theorie der magnetoelektrischen Maschinen 843. Freie Spannungs- und elektrische Induction an den Enden der ungeschlossenen Inductionsspirale 843 f. Ladungstafel an der Inductionsmaschine 844. Induction elektrischer Ströme in tropfbaren Flüssigkeiten 844. Benutzung der Inductionströme zur Entzündung von Minen 845. Inductionströme durch Torsion des Eisens 845 f. Verbesserung des Volta-Inductionsapparates durch Poggendorff 846.

Magnetometer IV, 846. Aufstellung der Instrumente 846 ff. Intensitätsmessungen 848. Einrichtung des Magnetometers für Declinationsmessungen 849 ff. Torsionsstab 852. Verubigungsstab 853. Beobachtungsweise 853 f. Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus 854. Bismarmagnetometer 854 f. Wechselwirkung zweier Magnete aus großer Entfernung bei

beliebiger gegenseitiger Lage 858 (f. auch Magnetismus IV, 772). Aufstellung des Apparates und Regulirung desselben 862 f.

Magnetpole, f. Magnetische Pole.

Magnium, Calcium, Magnesium IV, 865. Magnesia (Magnesiumoxyd), Talkerde oder Bittererde 866. Kohlensäure Magnesia 866 f. Schwefelsäure Magnesia 867. Salpetersäure, unterchlorigsaure, phosphorsaure, borsaure, fieselsäure Magnesia 868. Magnesiumchlorür 868. Quantitative Bestimmung der Magnesia 869.

Mahlstrom, f. Meer IV, 1008.

Maisbrunnen, f. Quelle V, 565.

Malachit, f. Kupfer IV, 387.

Malakolith, f. Augit I, 571.

Malaccazin, f. Zinn VI, 1093.

Mandelsäure, f. Säuren V, 675.

Mandelseife, f. Verseifung VI, 529.

Mangan IV, 869.

Manganchlorid, f. Mangan IV, 870.

Manganchlorür, f. Mangan IV, 878.

Manganoryd, f. Mangan IV, 870, 872.

Manganorydhydrat, f. Mangan IV, 872.

Manganorydorydul, f. Mangan IV, 871.

Manganorydorydulhydrat, f. Mangan IV, 871.

Manganorydul, f. Mangan IV, 870.

Mangansäure, f. Mangan IV, 876.

Mangansäures Kali, f. Mangan IV, 876.

Manganhyperchlorid, f. Mangan IV, 870.

Manganhyperoryd, f. Mangan IV, 872.

Manganhyperorydhydrat, f. Mangan IV, 876.

Mannheimer Gold, f. Kupfer IV, 401.

Manometer IV, 880. Däometer 881 (f. auch d. Art. II), Gläometer 881. Hydrostatische Manometer 881 f. Differentialmanometer 882. Aeroatische Manometer 882. Geoatische Manometer; Fadenmanometer, dynamometrisches Manometer, Plattenmanometer 882. — Kraftmesser IV, 341, Dampfmaschine II, 343 ff., Locomotive IV, 605, Luftpumpe IV, 727.

Margarin, f. Fette III, 139 ff.

Margarinsäure, f. Fette III, 141.

Marienbad, f. Dampf II, 42.

Marienbadapparat, f. Weingeist VI, 855.

Mariotte'scher Fled, f. Sinne V, 925.

Mariotte'sches Gefäß, f. Filtriren III, 202, Springbrunnen IV, 67.

Mariotte'sches Gefäß, f. Gas III, 412 f.

Mark, f. Maß IV, 901.

Markast, f. Wismuth VI, 998.

Marckscheidercompaß, f. Declinatorium II, 460.

Marmor, f. Berg I, 785.

Marmor, künstlicher, f. Calcium I, 932.
 Marmoriren der Grise, f. Verfeisung VI, 518 f., 520.
 Mare, f. Planeten V, 352 (344, 347 f.).
 Marschbildungen, f. Berg I, 797.
 Mascara, f. Gbbe und Fluth II, 583.
 Maschine IV, 883. Mechanische Kräfte 883 f. Einfache und zusammengesetzte Maschinen 884. Gesetz der einfachen Maschinen 884 f. Rusp- und Nebenlast 885. Rugeffect 886. Art der Zusammenfügung der Maschinen 886. Unterzeichnung der Maschinen in Rücksicht auf die Geschwindigkeit 886 f. Statistisches Gleichgewicht einer Maschine 887; dynamisches Gleichgewicht 888. Regulatoren; Schwungrad, Windsticht 888. Vermittlung der Stöße bei den Maschinen 889. Eintheilung der Maschinen in Rückstöß der Aggregatmaschinen des Körpers; gromchanische, hydraulische und pneumatische 890. Aufnehmende, fortpllanzende, arbeitende Maschinenteile 890 f.
 Maß IV, 801. Beariffabestimmung 801 f. Die Maße der alten Völker 893 f. Ueberstichtliche Zusammenstellung der älteren Maße und Gewichte 894 ff. Neuere Maße 896. Länge des einfachen Secundenpendels als Maßeinheit 896. Längeneinheit, hergenommen vom Meridianquadranten 897 f. Gewichtseinheit; Riter 898. Altfranzösisches Längenmaß 899. Maß- und Gewichtsfeststellung in England 899 f., in Oesterreich 900, in Preußen 900. Apothekergewicht 901. Münzgewicht 901. Uebersicht der bestehenden Maßeintheilungen 901—906. 1) Frankreich. A. Alte Maße. B. Neue Maße 902. 2) England. Längenmaße; Flächenmaße; Ältere Hohlmaße; neuere Hohlmaße 902. 3) Oesterreich 903; Längenmaße, Flächenmaße, Körpermaß. 4) Preußen 903; Längenmaße, Flächenmaße; Körpermaße, Gewichte. 5) Rußland 903. 6) Schweden 903 f. 7) Dänemark 904. 8) Niederlande 904. 9) Spanien 904. 10) Portugal 904 f. 11) Deutsche Bundesländer 905 f. Tafel zur Vergleichung der Fußmaße (mit Beifügung der Logarithmen) 907. Tafel zur Vergleichung der Quadratfüße 908. Tafel zur Vergleichung der Kubikfüße 909. Tafel der Weitenmaße, der besonderen Flächenmaße, der Fruchtmaße, der Flüssigkeitsmaße 910. Tafel zur Vergleichung der Gewichtseinheiten (mit Beifügung der Logarithmen) 911.
 Maß der Kräfte, f. Bewegung I, 822 ff.; Maß der beschleunigenden Kraft I, 814, III, 9, V, 792.

Maßanalyse IV, 912.
 Maßstabe, Lancische, f. Auslader I, 641 f.
 Maßstab, f. Barometer I, 665, Ronius V, 78.
 Masse IV, 914, Bewegung I, 811.
 Masse der Planeten, f. Planeten V, 349, Schwere V, 801 f.; 804.
 Masse, chemische, f. Verwandtschaft, chemische VI, 575.
 Massenanziehung, f. Anziehung I, 243, Schwere V, 799 f.
 Massengebirge, f. Berg I, 767.
 Massentreiben Richter's, f. Verwandtschaft, chemische VI, 551 f.
 Massentheilen, f. Molecul IV, 1100.
 Masset, f. Blei I, 853.
 Materie IV, 915. I. Historisches 915 bis 926. Thales, Anaximenes, Anaximander, Heraclit 915 f. Griechische Philosophen 917. Jeno 917 f. Empedocles, Anaxagoras; Leucipp, Democrit 918. Gistur 919. Platon und Aristoteles 919 ff. Hobbes, Gassendi 922. Cartesius 923 f. Leibniz 924. Kant 924. Richter, Schelling, Hegel 925. Herbart 926. — II. Ansicht über das Wesen der Materie vom Standpunkte der heutigen Physik 926 bis 932. Jeder Körper ist charakterisirt durch eine Gruppe sinnlicher Merkmale 926 f. Veränderung 927; chemische Veräander (Proceß) und mechanische 927 f. Materie; Stoff; Gehälten, Elasticität 928. Anziehung und Abstoßung 929. Trägheit 929. Theilbarkeit der Materie 929 ff. Mechanische Theilbarkeit 929 f. Chemische Theilbarkeit 931. Die letzten Bestandtheile der Materie können als absolut einfache Atome betrachtet werden 932. Diese einfachen Atome bilden die Materie durch ihre gegenseitigen Kräfteimwirkungen 933 f. Weiterer Betrachtung über die ursprünglichen Kräfteverhältnisse der einfachen Atome 934—938, 938—942. Aetherelemente (Aetheratome) 940 f. Bildung von Massentheilen (Moleculen) durch Wechselwirkung der einfachen Grundatome (Materie) und den Aetheratomen 942 f. Verbindung solcher Massenbrücken zu größeren Massen 944 ff. Aggregatzustände 946 (f. auch Wärme VI, 754—757). Wirkung in die Ferne; Gravitation 947 bis 951. — Vergl. Art. Wärme VI, 754—762, insbesondere auch 762—769.
 Mathematik, deren Anwendung in der Naturwissenschaft, f. Naturwissenschaft V, 34.
 Mathematische Geographie, f. Geographie III, 508.

- Mathematische Schnellwage, f. Wage VI, 782.
- Mathematischer Hebel, f. Hebel III, 707, Statik VI, 78.
- Mathematisches (geometrisches) Bild, f. Einseuglas IV, 538 ff.; Spiegel VI, 53.
- Mathematisches Klima, f. Klima IV, 261 ff.
- Mathematisches Pendel, f. Pendel V, 161.
- Mauerquadrant, f. Quadrant V, 528.
- Mauersalpeter, f. Natrium V, 15.
- Maultrommel, f. Ton VI, 432.
- Mauthwage, f. Wage VI, 789.
- Maximum der Dichte des Dampfes, f. Dampf II, 50.
- Maximum und Minimum des Barometerstandes (Luftdruckes), f. Atmosphäre I, 501 ff., 513, 517 f., 531 f.
- Maximum und Minimum des Dampfgehaltes der Atmosphäre, f. Atmosphäre I, 537 f., 549 f., insbesondere 552 ff.
- Maximum und Minimum der Elektricität, f. Elektricität IV, 689 f., 694.
- Maximum und Minimum der Temperaturen auf der Erdoberfläche, f. Isothermen IV, 149, 152 ff., 155, 162 f., 164, 165, 167, 172.
- Maximum- und Minimumbarometer, f. Barometer I, 701.
- Maximum- und Minimumthermometer, f. Thermometer VI, 334—337.
- Meccabalsam, f. Harze III, 699.
- Mechanik IV, 952. Reine (analytische) und angewandte Mechanik 952. Grundbegriffe 952. Freie und unfreie Bewegung 953. Bewegung beim Zusammenwirken mehrerer Kräfte 952. Gleichgewicht 952 f. Widerstand gegen die Bewegung 954. Grundgesetze 954. Eintheilung der Mechanik 954 f. — Bewegung I, 806, Statik VI, 70, Maschinen IV, 883; Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte VI, 1118 ff.
- Mechanik der Flüssigkeiten IV, 955. A. Stoß der Flüssigkeiten. 1) Stoß eines isolirten Wasserstrahles 956—960. 2) Stoß des Wassers im Gerinne 960—962. 3) Stoß im unbegrenzten Wasser 962—964. 4) Stoß der bewegten Luft 964—965. B. Widerstand der Flüssigkeiten 965—973. 1) Widerstände des Wassers gegen bewegte Körper 965—969. 2) Luftwiderstand 969 bis 973. Widerstand der Luft gegen geworfene Kugeln 971 f. C. Reaction ausströmender Flüssigkeiten 973 ff.
- Mechanische Arbeit IV, 975. Begriffsbestimmungen 975 f. Maß der Arbeitsgröße 976 f. Lebendige Kraft 977 f. Arbeitskraft 979.
- Mechanische Theilbarkeit, f. Theilbarkeit VI, 271, Materie IV, 929—932.
- Mechanisches Equivalent der Wärme, f. Wärme VI, 709.
- Mechanisches Moment, f. Statik VI, 81.
- Medium (Mittel), f. Licht IV, 514.
- Meer, Weltmeer, Ocean IV, 979. Benennung der einzelnen Hauptmeere 979 f. Meerbusen, Meerengen; Küste 680. 1) Meeresspiegel 980—984. Niveauunterschiede 980 f. Abnahme des Meeres 981; Zunahme desselben 982 f. Mittlerer Stand des Meeres 984. 2) Meerestiefe 984 bis 989. Bathometer 985. Tiefe des Meeres im sogenannten blauen Wasser 986. Binnenmeere 987. Bank, Dünen, Rührungen; Korallenbänke, Korallenfelsen, Austernbänke, Riffe; Scherren 989. 3) Meerwasser 989—1000. Salzgehalt 989 ff. Dichte 991. Analysen des Meerwassers 992 f. Farbe des Meerwassers 993 ff. Durchsichtigkeit 997. Leuchten des Meerwassers 997 ff. 4) Bewegungen des Meeres 1000—1013. Strömungen 1000 bis 1009. Oststrom (Weststrom) 1000 f. Sargasso-See 1001. Golfstrom 1002 f. Strömungen in Meerengen 1004 f. Log 1106. Strudel 1007 f. Wellenförmige Bewegung des Meeres 1009 f. (s. auch Wellenbewegung VI, 881 f. 886 ff.). Brecher, Wasserwände, Brandung 1010. Widersee 1011. Befänstigung der Wellen durch Del 1011. 5) Meeresboden 1012 f. Meerbarometer, f. Sympiezometer VI, 206, Barometer I, 673.
- Meerbusen, f. Meer IV, 980.
- Meerengen, f. Meer IV, 980.
- Meeressonde, f. Bathometer I, 748, Meer IV, 985.
- Meeresspiegel, f. Meer IV, 980—984.
- Meerestiefe, f. Meer IV, 984—989.
- Meerschäum, Absorptionsvermögen desselben, f. Absorption I, 40.
- Meerwasser, f. Meer IV, 989—1000.
- Megaskop, f. Mikroskop IV, 1070.
- Mehrsüßiges Echo, f. Echo II, 592.
- Meile, geographische (deutsche) f. Erde II, 899 f.
- Meilenmaße, f. Maß IV, 910.
- Melaphyr, f. Berg I, 784.
- Membranen, schwingende, f. Wellenbewegung VI, 909.
- Mengung von Dämpfen, f. Dampf II, 30, 35, Wärme VI, 708.
- Mengungsmethode (Mischungsmethode), f. Wärme VI, 688, Dampf II, 56.
- Meniskus, f. Einseuglas IV, 545; Barometer I, 728.
- Mennige, f. Blei I, 854.

- Menschliche Stimme, f. Stimme VI, [133](#).
 Mercator's Projection, f. Projection V, [489](#).
 Mercur (Merkur), f. Planeten V, 350.
 Mercur (mercurius), f. Quecksilber V, [532](#), [536](#), [542](#), [544](#).
 Mercuramin, f. Quecksilber V, [540](#).
 Mergel, f. Berg [1](#), 785.
 Meridian IV, [1013](#). Gnomon [1013](#); Filar: Gnomon [1014](#). Anfangsmeridian [1015](#). Bestimmung der geographischen Länge eines Ortes; Meridian Differenz [1015](#) f. Bestimmung der Meridian Differenzen [1016](#) ff. Verzeichnung der Mittaglinie [1021](#). Zeitdifferenz [1022](#). — Vergl. Passageninstrument V, [146](#). — Simmelshugel, künstliche III, [803](#) f.
 Meridian, magnetischer, f. Magnetismus der Erde IV, 808.
 Meridian Differenz, f. Meridian IV, [1015](#).
 Meridiankreis, f. Passageninstrument V, [144](#).
 Meridianzeichen, f. Passageninstrument V, [143](#).
 Mesoxalsäure, f. Kohlenstoff IV, [302](#).
 Messing, f. Kupfer IV, [400](#) f.
 Metacentrum, f. Statik VI, [97](#).
 Metaceton säure, f. Säuren V, 675.
 Metallbaum IV, [1022](#).
 Metalle und Metalloide IV, [1022](#). Hauptmerkmale der Metalle [1023](#) f. Gelegene Metalle [1024](#). Farbe, Geruch und Geschmack der Metalle [1025](#). Chemische Eigenschaften der Metalle [1025](#) f. Eintheilung der Metalle nach ihrem verschiedenen Verhalten zu Sauerstoff und Wasser [1026](#) f. Oxide, Säuren [1027](#). Erkennung und Trennung der Metalle [1027](#) f. Geschichtliches [1028](#). Anwendung der Metalle zu technischen Zwecken [1029](#) f. Aluminium [1030](#). Kennzeichen der Nichtmetalle [1031](#). — Vergl. die einzelnen Metalle. Bezüglich der elektrischen Leitungsfähigkeit der verschiedenen Metalle, f. Leiter der Elektrizität IV, [424](#)—[440](#), [426](#) f., [430](#), [433](#), [435](#) ff.; in Rücksicht der Wärmeleitungsfähigkeit, f. Wärme VI, [661](#) ff., [670](#) ff. Elektrische (galvanische) Spannungsreihe der Metalle, f. Spannungsreihe, galvanische VI, [34](#) ff., [37](#) f. Thermoelektrische Spannungsreihe VI, [230](#) f. Wärmereslerion der Metalle, f. Wärme VI, [639](#) f., [643](#) f. Sonstiges Verhalten der Metalle gegen die strahlende Wärme, ebenda [645](#) f. Schmelzen der Metalle, f. Schmelzen V, [733](#), [73](#) ff. Festigkeit der Metalle, f. Festigkeit III, [123](#) ff.
 Metallfällungen, f. Metalle IV, [1027](#) f.
 Metallglanz, f. Metalle IV, [1023](#).
 Metallmischungen (Verbindung der Metalle untereinander), f. Legirung IV, [418](#).
 Metalloide, f. Metalle.
 Metalloryte, f. Metalle IV, [1027](#).
 Metallspiegel, f. Spiegel VI, [44](#).
 Metallthermometer, f. Thermometer VI, [333](#) f.
 Metallvegetation, f. Metallbaum IV, [1022](#).
 Metanaphthalin, f. Garze III, 701.
 Metazinn säure, f. Zinn VI, [1099](#) f.
 Meteorstein, f. Feuerfugel III, [170](#), [172](#).
 Meteorognoſte, f. Meteorologie IV, [1032](#).
 Meteorologie IV, [1031](#).
 Meteorolithen, f. Feuerfugel III, [162](#).
 Meteorologische Jahreszeiten, f. Jahreszeiten IV, [7](#), [8](#).
 Meteoromantie, f. Meteorologie IV, [1032](#).
 Meteorsteine, f. Feuerfugel III, [162](#). Verzeichniß von Meteorsteinfällen [165](#) f. Meteorische Eisenmassen [167](#). Ursprung der Meteorsteine [168](#)—[180](#). Meteorstein-Analyse [171](#). Unterscheidung zwischen Meteorsteinen und Meteorsteinen [172](#). Angeblicher Ursprung der Meteorsteine aus Vulkanen der Erde [168](#), [172](#) f.; Ursprung innerhalb der Atmosphäre der Erde [172](#) ff.; Auswürflinge der Mondvulkane [174](#) ff. Kosmischer Ursprung der Meteorsteine und meteorischen Eisenmassen [176](#) bis [190](#).
 Meteorsteinfälle, f. Feuerfugel III, [165](#) f.
 Meter, f. Maß IV, [897](#) f., [902](#), [907](#).
 Methode der Coincidenzen, f. Pendel V, [178](#).
 Methode der kleinsten Quadrate, f. Beobachtung [1](#), 757.
 Methylwasserstoff, f. Kohlenstoff IV, [310](#).
 Miasmen, f. Desinficiren II, [464](#).
 Mikroelektrometer, f. Elektrometer II, [830](#).
 Mikroalometer, f. Differentialthermometer II, [503](#).
 Mikrocosmos, f. Astrologie [1](#), [374](#).
 Mikrometer IV, [1032](#). A. Fadenmikrometer [1032](#)—[1035](#). a) Fadenmikrometer mit durchweg feststehenden Fäden [1032](#) f. b) Fadenmikrometer mit beweglichen Fäden [1033](#) ff. B. Flächenmikrometer [1035](#) f. C. Dioptrische Mikrometer [1036](#)—[1041](#). 1) Objectivmikrometer [1037](#) ff. 2) Verapryſtallmikrometer [1039](#) f. 3) Ocularmikrometer [1040](#) f. Zenithmikrometer [1041](#) f. Lampenmikrometer sc. [1042](#).
 Mikrophon, f. Stethoskop VI, [118](#).

Mikroskop IV, 1042. 1. Einfaches Mikroskop 1043 ff. Loupen 1046. v. Hagenow's Patent-Dicapter 1048 ff. Loupenapparat von Chevalier 1052 ff. 2. Zusammengesetztes Mikroskop 1055 — 1072. a) Diepirtisches Mikroskop 1056 — 1067. Gläser 1057; Gestell, Tisch 1058. Beleuchtungsapparat 1059. Gebrauch 1060. Größe mikroskopischer Objecte 1062. Prüfung eines Mikroskopes 1063. Klarheit, Helligkeit und Deutlichkeit der Bilder 1065. Geschichtliches 1066. b) Katoptrisches Mikroskop 1067. c) Sonnenmikroskop und dessen Abänderungen 1068 ff. Megastop 1070. Lampenmikroskop 1071. Hydroergastisches Mikroskop 1071 f. Photoelektrisches Mikroskop 1072.

Milchmesser, f. Aräometer I, 355.

Milchstraße IV, 1072.

Mildes Kali (Pflanzenlaugensalz), f. Kalium IV, 202.

Millimeter, f. Maß IV, 898, 902.

Mineral IV, 1074.

Mineral-Alkali, f. Natrium V, 8.

Mineral-Gänge, f. Geologie III, 530 f.

Mineralien, f. Mineral.

Mineralisches Chamäleon, f. Mangan IV, 877.

Mineralisches Laugensalz, f. Natrium V, 8.

Mineralkermes, f. Antimon I, 238.

Mineralkoble, f. Berg I, 785 f.

Mineralnähr, f. Quecksilber V, 540.

Mineralöl, f. Paraffin V, 129, Lampe IV, 417.

Mineralogie, f. Mineral IV, 1075.

Mineralpurpur (Cassius'scher Purpur), f. Gold III, 630.

Mineralwasser, f. Quelle V, 562.

Mineralwasser, künstliche IV, 1075. Geschichtliches 1075 ff. Vergleichung der künstlichen mit den natürlichen Mineralwässern 1078 ff. Darstellung der künstlichen Mineralwasser 1080—1095. Apparat von Bramah 1083. Apparat zur Fabrikation der Mineralwasser, die ausschließlich zum medicinischen Gebrauch dienen 1087. Zersetzungsmaschine 1092. Euxinwasser; moussirende Getränke 1095; Liebig'scher Apparat 1095 f.; Apparat, von Wiegler verfertigt, 1097 f.

Mischfarben, f. Farbe III, 29 ff., 34.

Mischung (Verbindung), chemische, f. Verwandtschaft, chemische VI, 539 ff.

Mischungsgewichte, f. Verwandtschaft, chemische VI, 557 f.

Mischungsmethode (Mengenmethode), f. Wärme VI, 688, Dampf II, 56.

Mispidol, f. Eisen II, 621.

Mittlingen der Töne, f. Ton VI, 394, Wellenbewegung VI, 944.

Mittag, f. Tag und Nacht VI, 209, Meridian IV, 1013.

Mittagsfernrohr, f. Passageninstrument V, 139.

Mittagskreis, f. Meridian IV, 1013.

Mittagskreise, f. Erde II, 873 f.

Mittagslinie, f. Meridian IV, 1013.

Mittagsrohr, f. Passageninstrument V, 139.

Mittel (Medium), f. Licht IV, 514.

Mittel, arithmetisches, f. Beobachtung I, 757.

Mittel (Medium), widerstehendes, f. Mechanik der Flüssigkeiten IV, 965 f., 969 f., Pendel V, 173; Kometen IV, 339 f.

Mittelbruck, f. Druck II, 557.

Mitteltkraft, f. Statik VI, 71.

Mitteländische Meere, f. Meere IV, 980.

Mittellinie des Druckes, f. Druck II, 558.

Mittelpunkt des Druckes, f. Statik IV, 89.

Mittelpunkt der Ellipse, f. Planeten V, 337.

Mittelpunkt der Masse (oder Trägheit), f. Schwerpunkt V, 808.

Mittelpunkt der Momente, f. Statik VI, 73.

Mittelpunkt der parallelen Kräfte, f. Statik VI, 74 f.

Mittelpunkt, optischer, f. Linsenglas IV, 555, Spiegel VI, 50.

Mittelpunktswinkel, f. Nivelliren V, 78.

Mitternacht, f. Tag und Nacht VI, 210.

Mittheilung der Electricität, f. Electricität II, 718 ff.

Mittheilung des Magnetismus (magnetische Vertheilung), f. Magnetismus IV, 745 ff.

Mittheilung der Schwingungen, f. Wellenbewegung VI, 940 ff.

Mittlere Anomalie, f. Planeten V, 339, Anomalie I, 231.

Mittlere Entfernungen der Planeten von der Sonne, f. Planeten V, 344.

Mittlere Planeten V, 339.

Mittlere Temperaturen, f. Isothermen IV, 150.

Mittönen der Körper, f. Wellenbewegung VI, 940 ff., 944 f.

Modelle, galvanoplastische, f. Galvanoplastik III, 387 ff.

Modelle zu Krystallen, f. Krystall IV, 383.

Modulgewicht, f. Elasticität II, 708.

Modulus der Elasticität, f. Elasticität II, 706 ff.

Mörtel, f. Calcium I, 920.

Moiré metallique, f. Eisen II, 627, Zinn VI, 1093.

Molecul IV, 1100.

Molybdän IV, 1100.

Molybdänglanz, f. Molybdän IV, 1100.

Molybdänoryd, f. Molybdän IV, 1101.

Molybdänorydul, f. Molybdän IV, 1101.

Molybdänsäure, f. Molybdän IV, 1101 f.

Molybdänsaures Ammoniak, f. Molybdän IV, 1102.

Molybdänsaures Bleioryd, f. Molybdän IV, 1100.

Moment, chemisches, f. Verwandtschaft, chemische VI, 373.

Moment eines galvanischen Kreisstromes, f. Strom, elektrischer VI, 186.

Moment, magnetisches, f. Magnetismus IV, 770.

Moment, mechanisches, f. Statik VI, 81.

Moment, statisches, f. Statik VI, 72.

Moment, virtuelles, f. Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte VI, 1023.

Moment der Trägheit, f. Trägheitsmoment VI, 437.

Momentane Kraft, f. Bewegung I, 810, 822 ff.

Monat IV, 1103. Siderischer, periodischer (tropischer), synodischer Monat, Knotenmonat (Drachenmonat), anomalistischer Monat, Sonnenmonat 1103 f. Bürgerliche Monate 1104. Erleuchtungsmonate 1104.

Mond IV, 1104. Bewegung um die Erde 1104 f. Durchmesser, Oberfläche, Volumen, Masse, Dichte des Mondes 1105 f. Mittlere Geschwindigkeit des Mondes in seiner Bahn 1106. Bewegung des Mondes um seine Axe 1106. Phasen des Mondes 1107 f.; Neumond, erstes Viertel (erste Quadratur), Vollmond, letztes Viertel (zweite Quadratur). Aschgraues Licht des Mondes 1108. Vibration des Mondes, in Länge und Breite; allgemeine Vibration 1109. Parallaxische Vibration 1110; physische Vibration 1110. Länge der Tage und Nächte auf dem Monde; Mondsbewohner 1110. Länge des Mondknotens 1111; siderischer Umlauf der Knoten. Apiden 1111. Verkleinerung der Umlaufzeit des Mondes um die Erde 1111. Seculare und periodische Veränderung der Mondbewegung 1111 f. Ungleichheiten; Evection, Variation; jährliche Gleichung 1112. Mond- und Sonnenfinsternisse 1113 — 1116. Totale Mondfinsternis 1113 f. Sonnenfinsternis 1114 ff.; partielle, centrale ringförmige 1115. Protuberanzen; Corona 1116. Flecke des Mondes; Gesicht im Monde 1116. Rings-

gebirge. Verrastete des Mondes 1117 ff. Abplattung des Mondes 1118. Einfluß des Mondes auf die Erdbeben 1119. — Einfluß des Mondes auf die Schwankungen des Luftdruckes, f. Atmosphäre I, 530—537.

Mondbahn, f. Mond IV, 1104 f. 1106 ff.

Mondencclus, f. Cyclus I, 1016.

Mondentfernung als Mittel zur Längenbestimmung, f. Meridian IV, 1020.

Monde, f. Planeten V, 320.

Mondenjahr, f. Jahr IV, 8.

Mondfinsternisse, f. Mond IV, 1113 f.

Mondflecke, f. Mond IV, 1116 f.

Mondgebirge, f. Mond IV, 1117.

Mondlicht, Intensität desselben, f. Photometer V, 283, 304.

Mondlichtbild, f. Mond IV, 1118.

Mondregenbogen, f. Regenbogen V, 622.

Mondseine, f. Feuerfugel III, 162.

Mondtafelu, f. Meridian IV, 1020 f.; Mond IV, 1120.

Monochord IV, 1120.

Monometaphosphorsäure, f. Phosphor V, 226.

Monsons, f. Moussons (im Register).

Montgolfieren, f. Luftball IV, 672.

Moore, f. Sümpfe VI, 204.

Merälle, f. Sümpfe VI, 204.

Meränen, f. Gletscher III, 622.

Merzen (Flächenmaß), f. Maß IV, 903, 905, 910.

Morgen, Morgenegend, f. Abend I, 2.

Morgendämmerung, f. Dämmerung II, 11, 13.

Morgengegend, f. Abend I, 2.

Morgenpunkt, f. Abendpunkt I, 2.

Morgenröthe, f. Dämmerung II, 11, Himmel III, 800 ff.

Morgenstern, f. Planeten V, 331.

Morgenweite, f. Abendweite I, 2.

Morazit, f. Apatit I, 243.

Moric's elektr. Telegraph, f. Telegraphie VI, 242.

Mosaikisches Geld, f. Zinn VI, 1101.

Moschus, f. Theilbarkeit VI, 271.

Moskoderom, f. Meer IV, 1008.

Mosmesser, f. Aräometer I, 336.

Motorische Nerven, f. Sinne V, 903.

Mouches, volantes, f. Sinne V, 910.

Moussons, f. Winde VI, Regen V, 388 f.

Mühlrad, f. Wasserrad VI, 802, Mechanik der Flüssigkeiten IV, 960 f.

Mündung der Flüsse, f. Ströme VI, 153, 161 f.

Multiplication gravirter Platten, f. Galvanoplastik III, 392.

Multiplicationskreis, f. Vervielfältigungskreis VI, 537.

Multiplier, Galvanoskop, Gal-

vanometer IV. 1123. I. Galvanoskop oder Multiplikator 1123—1132. Princip des gewöhnlichen (Schweigger'schen) Multiplikators 1123 f. Einrichtung 1124 ff. Ablenkung astatischer Nadelpaare 1127 f. Verdrängungsmaß 1129. Empirische Graduirung 1129 f. Einfluß der verschiedenen Drahtlängen bei dem Multiplikator 1130 ff. Ohm'sche Formel für die Wirkung des Multiplikators auf die Magnetnadel 1132. II. Galvanometer 1132—1137. Rechner's Galvanometer; Becquerel's elektromagnetische Waage 1132 f. Weber's bifilar aufgehängte Drahtrolle; Osann's Zedgaltvanometer; Pouillet's Tangentenboussole 1133 f. Pouillet's Sinusboussole 1133 f. Relative und absolute Stromstärke 1136 f. — Vergl. Strom, elektrischer VI, 162 ff., 176, 180 ff., 183 f.

Mumienhöhle in Mexico, f. Höhlen III, 847.

Muntharmonika, f. Ton VI, 432.

Mundloch (an Pfeifen), f. Ton VI, 410.

Mundstück bei Zungenpfeifen, f. Ton VI, 415.

Muschelkalkstein, f. Berg I, 796.

Muschelschalen, mikroskopische, f. Meer IV, 1012.

Muschel-Schieber, f. Dampfmaschine II, 350 f.

Muschelventil, f. Pumpe V, 502.

Musikalische Instrumente, f. Ton VI, 427 ff.

Musivgold, f. Zinn VI, 1101.

Muskelmoleküle, elektromotorische, f. Thierische Elektricität VI, 348 f.

Muskelstrom, f. Thierische Elektricität VI, 343, 347 f.

Musförende Getränke, Bereitung derselben, f. Mineralwasser, künstliche IV, 1093 bis 1099.

Musfit, f. Augit I, 572.

Mussions, f. Moussons (im Register).

Natterlauge, f. Krystall IV, 356.

Nepisch, f. Sehen V, 833.

Nyriameter, f. Maß IV, 898, 902.

Nachball, f. Echo II, 592.

Nacht, f. Tag und Nacht VI, 209.

Nachtblindheit, f. Sinne V, 938.

Nachtgleichen, Tag- und Nachtgleichen V, 1. Frühlings-Nachtgleiche (Frühlingsäquinoccium), Herbst-Nachtgleiche (Herbstäquinoccium); Nachtgleichenpunkte (Aequinoctien); wahres und mittleres Aequinoctium 1. Vorrücken oder Präcession der Nachtgleichen 1 f. Das große oder platonische Jahr 2. Mutation oder Wanken der Ecliptik; Mutation in Länge, Mutation der Ecliptik 3.

Grund des Vorrückens der Nachtgleichen 4. Lunisolarpräcession 4, allgemeine (mittlere) Präcession 5. Seculare Aenderung der allgemeinen Präcession 5 f. Zunahme der Länge und Abnahme der Rectascensionen der Sterne in Folge der Präcession 6.

Nachtgleichenpunkte, f. Nachtgleichen V, 1.

Nachsehen, f. Sinne V, 938.

Nadeln, astatische, f. Astatische Nadel I, 368, Elektromagnetismus II, 782, Multiplikator IV, 1127 f.

Nadir, f. Scheitel V, 714.

Nächte, helle, f. Dämmerung II, 16.

Nagelflub, f. Berg I, 797.

Naphtha (Bitriolnaphtha), f. Aether I, 122.

Naphthalin, f. Garze III, 700. Gasbeleuchtung III, 462 f.

Naphthalinschwefelsäure, f. Säuren V, 675.

Naphthaquellen, f. Quelle V, 563.

Nase, f. Sinne V, 941.

Natrium V, 6. Darstellung 7 f.

Natriumamid, f. Ammoniak I, 149.

Natriumantimonisulfid, f. Antimon I, 239.

Natriumoxyd, f. Natrium V, 8.

Natriumpalladiumchlorür, f. Palladium V, 123.

Natrium-Rhodiumchlorür, f. Rhodium V, 638.

Natriumsulberoxyd, f. Natrium V, 8.

Natriumsulperoxyd, f. Natrium V, 8.

Natron, f. Natrium V, 8.

Natronglas, f. Glas III, 603 f.

Natronhydrat, f. Natrium V, 8.

Natronlauge, f. Natrium V, 8 f.

Natronium, f. Natrium V, 6.

Natronsalpeter, f. Natrium V, 14.

Natronsalze, f. Natrium V, 9 f.

Natronseifen, f. Natrium V, 10.

Natronseife, f. Verseifung VI, 514, 522.

Natürliche Waare, f. Zauberkunst, natürliche VI, 1039.

Natürliche Magnete, f. Magnetismus IV, 745, 749.

Natürlicher Tag, f. Tag und Nacht VI, 209.

Natur, f. Naturwissenschaft V, 24.

Naturlebre, f. Naturwissenschaft V, 36, Physik V, 312.

Naturwissenschaft V, 24. Natur: Erscheinung 24 f. Naturgesetz 25. Beobachtung; Experiment (Versuch) 25 f. Erklärung einer Naturerscheinung 26. Inductive Methode; vollständige und unvollständige Induction 26. Beispiel 27 f. Empirische Gesetze 29. Auffindung der Erklärungsgründe einer Erscheinung durch Zusammenstellung aller Umstände, unter denen die Erscheinung eintritt und aus-

bleibt [29](#). Combination bekannter Thatsachen zur Auffindung der Ursachen gewisser Naturerscheinungen [30](#). Isolirung der Erscheinungen [30](#) f. Sogenannte vera causa [31](#). Hypothese [32](#). Analogie [33](#). Anwendung der Mathematik [34](#). Eintheilung der Naturwissenschaft [35](#) ff. Beschreibende und erklärende Naturwissenschaft [35](#) f. Physik, Chemie, Physiologie [36](#). Experimentalphysik; theoretische und mathematische Physik [36](#) f. — Physik V, [312](#).

Nebel V, [37](#). Feuchte Nebel; Bildung derselben [37](#) ff. Nebel über Quellen; Nebel durch Vermischung ungleich warmer Luftschichten [38](#). Locale Nebel; Frostnebel [38](#) f. Schweben des Nebels, Dunstbläschen; Steigen und Fallen des Nebels [39](#). Zahl der Nebeltage [39](#) f. Häufigkeit der Nebel in der Nähe von Küsten und Seen [41](#). Schatten auf Nebelschichten; optische Täuschung im Nebel [41](#). Uebelriechende Nebel [41](#). Trockne Nebel [42](#). Vergl. Höhenrauch III, [849](#).

Nebelbilder V, [42](#).

Nebelbläschen, f. Dunst II, [563](#); Nebel V, [39](#).

Nebelflecke V, [43](#). Sterngruppen [43](#). Teleskopische Gruppen [44](#). Doppelnebel [44](#). Planetarische Nebel. Nebelsterne [44](#). Zahl der Nebelflecke [44](#) f.

Nebenaren, f. Krystall IV, [361](#).

Nebenbewohner, f. Himmelskugel III, [806](#).

Nebendurchgänge, f. Krystall IV, [379](#).

Nebenflüsse, f. Ströme VI, [153](#).

Nebenkanten, f. Krystall IV, [362](#).

Nebenlast, f. Maschine IV, [885](#).

Nebenmonde, f. Hof III, [861](#), [878](#) ([868](#) ff.).

Nebenplaneten, f. Planeten V, [320](#).

Nebenregenbogen, f. Regenbogen V, [613](#), [617](#).

Nebensonnen, f. Hof III, [861](#), [878](#) ([868](#) ff.).

Nebenstrom, elektrischer, f. Induction, elektrische IV, [34](#).

Negative Brennweite, f. Linsenglas IV, [551](#).

Negative Electricität, f. Electricität II, [719](#). Galvanismus III, [304](#) ff., [367](#).

Negativer Brennpunkt, f. Linsenglas IV, [548](#). Spiegel VI, [53](#).

Negativer Pol (der Volta'schen Säule), f. Galvanismus III, [315](#).

Negatives Bild, f. Photographie V, [232](#), [244](#).

Nehrungen, f. Meer IV, [989](#).

Neigung (Inklination) der Magnetnadel V, [45](#). Erscheinung [45](#). Verschiedenheit der Inklination an verschied-

denen Orten der Erdoberfläche [46](#). Orte ohne Inklination; magnetischer Aequator; Linien gleicher Neigung (isoklinische Linien) [46](#). Bewegung des magnetischen Aequators [47](#). Tabelle beobachteter Inklinationen [47](#) ff. Lage des magnetischen Aequators [49](#) f. Isoklinische Karten [50](#) f. Beobachtungen der Neigung in Paris, Berlin und Göttingen [51](#). Jährliche Veränderung der Inklination [51](#) f. Seculäre, jährliche, monatliche und tägliche Variationen der Inklination; Variationsinstrumente [53](#) f. Weber's Inductions-Inklinatorium [55](#)—[60](#). Inklinations-Änderungen während eines ganzen Tages [61](#). Variation während ganzer Monate [62](#) ff. Maximum und Minimum der täglichen Variation der Neigung [63](#). Variation während des Nachts, im Sommer und Winter in beiden Hemisphären [65](#). Maximum und Minimum der jährlichen Inklination [65](#) f.

Neigungsnadeln, f. Neigung der Magnetnadel V, [45](#). Inklinatorium IV, [83](#).

Neigungswinkel, f. Krystall IV, [360](#); Neigungswinkel der Planetenbahnen, f. Planeten V, [333](#).

Nephelinfels (Nephelinporphyr), f. Berg I, [784](#).

Nerven, f. Sinne V, [904](#).

Nervenhaut (des Auges), f. Netzhaut.

Nervenmark, f. Sinne V, [905](#).

Nervenstrom, f. Thierische Electricität VI, [350](#).

Netzhaut, f. Sinne V, [915](#).

Neugelb, f. Blei I, [853](#).

Neumond, f. Mond IV, [1107](#).

Neurilem, f. Sinne V, [904](#).

Neusilber, f. Nickel V, [70](#).

Neutrale Salze, f. Salze V, [679](#), [670](#) f.; Verwandtschaft, chemische VI, [554](#).

Newman'sches Gebläse, f. Gebläse III, [504](#).

Nickel V, [66](#). Vorkommen [66](#). Darstellung [67](#). Analyse einiger Nickelforten, die im Handel vorkommen [68](#). Sauerstoffverbindungen des Nickels [69](#). Legirungen des Nickels [70](#).

Nickelantimonfies, f. Nickel V, [66](#).

Nickelarsenifies, f. Nickel V, [66](#).

Nickelblüthe, f. Nickel V, [66](#).

Nickelglanz, f. Nickel V, [66](#).

Nickelocker, f. Nickel V, [66](#).

Nickeloryd, f. Nickel V, [70](#).

Nickelorydul, f. Nickel V, [69](#).

Nickelspeise, f. Nickel V, [67](#).

Nickelspießglanzerg, f. Nickel V, [66](#).

Nicol'sches Prisma, f. Polarisation des Lichtes V, [398](#).
 Niederdruckmaschine, f. Dampfmaschine II, [367](#).
 Niederschläge (wässerige), f. Regen V, [582](#).
 Niederschlag, f. Fällung III, [1](#).
 Niederschlagen, f. Aggregat I, [127](#).
 Niederschlagsarbeit, f. Blei I, [852](#).
 Niederstinken (Fallen) des Nebels, f. Nebel V, [39](#).
 Niedersteigender Knoten, f. Knoten IV, [284](#).
 Niedrigstes Wasser, f. Ebbe und Fluth II, [574](#).
 Nimbus, f. Wolken VI, [1017](#), [1019](#) f.
 Rippfluth, f. Ebbe und Fluth II, [574](#).
 Nitrogen, f. Stickstoff VI, [118](#).
 Nitroprusside, f. Koblenstoff IV, [320](#).
 Nitronaphtalinsäure, f. Säuren V, [675](#).
 Nitrobenzoesäure, f. Säuren V, [675](#).
 Nitrocoumarylige Säure, f. Säuren V, [675](#).
 Nitrozimmtsäure, f. Säuren V, [675](#).
 Niveau des Meeres (Meerespiegel), f. Meer IV, [980](#), Höhe eines Punktes u. III, [807](#), Berg I, [763](#) f.
 Nivelliren V, [71](#). Nivellirinstrumente; Seewaage [71](#), Kanalwaage [72](#), Vega's Nivellirbinopter [73](#), Stampfer's Nivellirinstrument [74](#), Nivellirlatten [76](#); Zieltafel (Zielscheibe) [76](#) f. Vorwärtsnivelliren; Nivelliren aus der Mitte [77](#). Reflexionswinkel; Mittelpunktswinkel [78](#).
 Nivellirbinopter, f. Nivelliren V, [71](#).
 Nivellirinstrumente, f. Nivelliren V, [71](#) bis [76](#).
 Nivellirlatten, f. Nivelliren V, [76](#).
 Nonius oder Vernier V, [78](#).
 Nordlicht, Nordschein, Australschein V, [81](#). Beschreibung des Phänomens [81](#) ff. Höhe des Nordlichts [86](#) f. Geräusch [87](#) f. Zusammenhang mit der Witterung [88](#). Verhalten der Sternschnuppen gegen das Nordlicht [89](#). Intensität des Nordlichts [89](#). Häufigkeit der Nordlichter [90](#). Beziehung des Nordlichts zum Magnetismus [90](#) ff. Beobachtungen Hanssen's [93](#) f. Die Nordlichter als elektrische Entladungen [94](#). Magnetisches Ungewitter [95](#). Ansicht von J. Roß [95](#) f.
 Nordlichtskrone, f. Nordlicht V, [85](#).
 Nordlinie, f. Pendel V, [188](#).
 Nordpol des Magnets, f. Magnetismus IV, [746](#).
 Nordpol der Erde, magnetischer, f. Magnetismus der Erde IV, [809](#) f., [816](#), [821](#).
 Nordpunkt, f. Abendpunkt I, [2](#), Horizont III, [883](#).

Nordschein, f. Nordlicht V, [81](#).
 Norium, f. Metalle IV, [1029](#).
 Normal, f. Schwere V, [795](#).
 Normalbarometer, f. Barometer I, [732](#).
 Normalen, thermische, f. Isothermen IV, [173](#), Klima IV, [268](#).
 Normalthermometer, f. Thermometer VI, [337](#).
 Notiometer, f. Hygrometer III, [886](#).
 Nullpunkt, f. Thermometer VI, [296](#).
 Nutation, f. Nachtgleichen V, [3](#), [5](#).
 Rußeffect, f. Maschine IV, [886](#).
 Rußlast, f. Maschine IV, [885](#).

Oafen, f. Klima IV, [264](#).
 Obere Planeten, f. Planeten V, [320](#) f., [323](#).
 Oberfläche der Erde, f. Erde II, [886](#). Berg I, [763](#), [766](#) ff., [770](#) ff.
 Objectiv, f. Fernrohr III, [97](#), [102](#) ff.
 Objectiv, achromatisches, f. Fernrohr III, [111](#), Linsenglas IV, [573](#), Abweichung, optische I, [101](#).
 Objectiv, aplanatisches, f. Fernrohr III, [115](#).
 Objectiv, eyalitisches, f. Fernrohr III, [113](#).
 Objectivmikrometer, f. Mikrometer IV, [1037](#).
 Oboe, f. Ton, VI, [432](#).
 Oblonge, f. Krystall IV, [360](#).
 Observatorien, magnetische, f. Magnetismus der Erde IV, [810](#), Magnetometer IV, [846](#) ff.
 Obsidian, f. Berg I, [783](#).
 Occident, f. Abend I, [2](#).
 Occultation, f. Bedeckung I, [755](#).
 Ocker (des Eisens), f. Eisen II, [620](#).
 Oefrige Kupfererze, f. Kupfer IV, [388](#).
 Octaeder, f. Krystall IV, [363](#).
 Octant, f. Quadrant V, [530](#).
 Octave, f. Ton VI, [383](#).
 Octavflöte, f. Ton VI, [431](#).
 Ocular, f. Fernrohr III, [97](#), [102](#) ff., Mikroskop IV, [1055](#) ff.
 Ocular, orthoskopisches, f. Linsenglas IV, [577](#).
 Ocular, pankreatisches, f. Fernrohr III, [117](#).
 Ocular-Irradiation, f. Irradiation IV, [129](#).
 Ocular-Mikrometer, f. Mikrometer IV, [1040](#).
 Ofen, f. Heizung III, [758](#) f.
 Oelbildendes Gas, f. Kohlenstoff IV, [311](#).
 Oele, ätherische, f. Aetherisches Oel I, [124](#).

Dele, eintrocknende, f. Fette III, 140.
 Dele, fette, f. Fette III, 139 f.
 Dele, flüchtige, f. Aetherisches Del I, 124.
 Dele, wesentliche, f. Aetherisches Del I, 124.
 Dele, als Leiter der Electricität, f. Leiter der Electricität IV, 458; Dele als Mittel den Wellenschlag des Meeres zu beseitigen, f. Meer IV, 1011.
 Delsäure, f. Fette III, 141, Verseifung VI, 516.
 Denometer, f. Aräometer I, 356.
 Ofenheizung, f. Heizung III, 758.
 Ohr, f. Sinne V, 947 f.
 Ohr des Dienhs', f. Sprachgewölbe VI, 64.
 Ohrenschmalzdrüsen, f. Sinne V, 947, 955.
 Ohrenknochen, f. Sinne V, 947.
 Ohrläppchen, f. Sinne V, 947.
 Ohrläppchen, f. Sinne V, 947.
 Ohrmuschel, f. Sinne V, 947.
 Olein, f. Fette III, 141.
 Oleometer, f. Aräometer I, 356.
 Olivenit, f. Arsenik I, 360.
 Olivin, f. Feuerfugel III, 172, Berg I, 784.
 Ombrometer, f. Regenmesser V, 622.
 Ombrometrograph, f. Regenmesser V, 626.
 Opal, f. Silicium V, 898.
 Operment, f. Arsenik I, 360.
 Opposition, f. Aspecten I, 363, Planeten V, 322 (Anmerkung).
 Optil V, 96. Eintheilung der Optil 96 f. Gesetz der Reflexion des Lichtes 97 f.
 Optische Abweichung, f. Abweichung optisch I, 90.
 Optische Täuschungen, f. Sehen V, 829 f. (f. auch Rebel V, 41), 928, 933 f. Himmel III, 794 f., Parallaxe V, 131.
 Optischer Mittelpunkt, f. Linsenglas IV, 555, Spiegel VI, 50.
 Optischer Winkel, f. Sehen V, 831, Sinne V, 921.
 Orangit, f. Metalle IV, 1028.
 Decane, f. Binde VI, 979 ff.
 Organische Elementaranalyse, f. Analyse I, 171.
 Organische Ueberreste, f. Geologie III, 515.
 Organismus, Wirkung des Lichtes auf denselben, f. Licht IV, 473 ff.
 Orgel, f. Ton III, 428.
 Orgeln, geologische, f. Höhlen III, 848.
 Oridium, f. Metalle IV, 1028.
 Orient, f. Abend I, 2.

Orientirung am Himmel, f. Himmelsfugel III, 803, Sterne VI, 112, 118.
 Orthographische Projection, f. Projection V, 488.
 Oscillationen des Barometerstandes, f. Atmosphäre I, 803, 819, 742 ff.
 Oscillationen der Magnetenadel, f. Magnetismus IV, 762 ff., Magnetismus der Erde IV, 826.
 Oscillationen des Pendels, f. Pendel V, 160 ff.
 Oscillationsare, f. Are I, 683.
 Oscillationstheorie des Lichtes, f. Licht IV, 520 ff.
 Oscillationstheorie der Wärme, f. Wärme VI, 752—762.
 Ost, Osten, f. Abend I, 2.
 Ostpunkt, f. Abend I, 2.
 Oststrom, f. Meer IV, 1000 ff.
 Domige Säure, f. Domium IV, 100.
 Domium V, 98.
 Domiumchlorür, f. Domium IV, 101.
 Domiumchlorid, f. Domium IV, 101.
 Domiumoxyd, f. Domium IV, 100.
 Domiumorydul, f. Domium IV, 99 f.
 Domiumsäure, f. Domium IV, 100.
 Domiumsesquiorxydul, f. Domium IV, 100.
 Domiumtrichlorid, f. Domium IV, 101.
 Osterfest, f. Kalender IV, 190.
 Oxfalsäure, f. Kohlenstoff IV, 302.
 Oxydation, f. Sauerstoff V, 693.
 Oxydationsflamme, f. Löthrohr IV, 663.
 Oxyde, f. Sauerstoff V, 693, Metalle IV, 1027.
 Oxygen, f. Sauerstoff V, 691.
 Oxygenirte Salzsäure, f. Chlor I, 957.
 Oxyflirter Sauerstoff, f. Ozon V, 101.
 Ozon V, 101. Geschichtliches 101 f. Erzeugung des Ozon auf chemischem Wege 103 f. Erzeugung des Ozon bei der Zersetzung des Wassers durch den galvanischen Strom 104. Erzeugung von Ozon bei der Bildung des Wassers 104 f. Erzeugung des Ozon auf trockenem Wege durch galvanische Electricität 105. Erzeugung des Ozon durch Reibungselectricität 105. Erzeugung von Ozon durch elektrische Induction 106. Natur (Wesen) des Ozon 106 ff. Charakteristische Eigenschaften des Ozon 109 ff. Große Verwandtschaft des Ozon zu anderen Körpern 110 ff. Ozon als Mittel, Arsen und Antimon von einander zu unterscheiden 111. Bleichung von Pflanzensfarbstoffen durch Ozon 113. Quantitative Bestimmung des Ozon 114. Ozonisirte Körper 114 f. Bleichende Kraft der ätherischen Dele 115. Das Ozon als Bestandtheil der Atmosphäre 116 ff. Ozon

nometrische Beobachtungen [117](#) f. Veränderungen des Ozongehaltes in der Atmosphäre [119](#) f. Einfluß des Ozon auf das Auftreten und das Fortschreiten gewisser Krankheiten [120](#) f. — Vergl. Wasserstoff VI, [838](#).

Vadeis, f. Eis II, [610](#).

Valladium V, [121](#).

Valladiumchlorid, f. Valladium V, [123](#).

Valladiumchlorür, f. Valladium V, [123](#).

Valladiumcyanür, f. Valladium V, [123](#) f.

Valladiumhyperoxyd, f. Valladium V, [123](#).

Valladiumoxyd, f. Valladium V, [123](#).

Valladiumoxydul, f. Valladium V, [123](#).

Valladiumsuboxyd, f. Valladium V, [122](#).

Vallas (der Planet), f. Planeten V, [344](#) f.

Walnöl, f. Verifizung VI, [513](#) f.

Wandker, f. Eis II

Wandkerische Fernröhre, f. Fernrohr III, [117](#).

Wandkerische Spiegel, f. Spiegel VI, [54](#). Brennweite [1](#), [911](#).

Wandker, f. Kohlenstoff IV, [320](#).

Wandkerin V, [124](#). Vorkommen [124](#). Gewinnung [125](#). Indifferentes Verhalten zu den stärksten Agentien [125](#). Mineralisches Wandkerin [126](#). Wandkerinzerzen [126](#) f. Leuchtstärke der Wandkerinzerzen [127](#) ff. Mineralöl [129](#) f.

Wandkerare V, [131](#). Ortsveränderung feststehender Gegenstände, wenn man sie von verschiedenen Standpunkten aus beobachtet [131](#). Wandkerare der Declination, Wandkerare der Rectascension, Wandkerare der Breite, tägliche und jährliche Wandkerare [132](#). A. Tägliche Wandkerare [132](#)—[138](#). Horizontalparallare [133](#). Bestimmung der Entfernung eines Gestirns mittelst der Horizontalparallare [133](#) f. Bestimmung des wahren Halbmessers eines Gestirns [137](#). B. Jährliche Wandkerare [138](#) f.

Wandkerale Himmelskugel, f. Himmel III, [796](#).

Wandkeralkreise V, [139](#).

Wandkeralelogramm, f. Krystall IV, [360](#).

Wandkeralelogramm der Bewegung, f. Bewegung I, [816](#).

Wandkeralelogramm der Kräfte, f. Bewegung I, [817](#). Statif VI, [71](#).

Wandkeres, f. Wolken VI, [1021](#).

Wandkerer Blau, f. Eisen II, [620](#).

Wandkerische Farben, f. Inflexion IV, [67](#).

Wandkeriale Mondfinsterniß, f. Mond IV, [1114](#).

Wandkeriale Sonnenfinsterniß, f. Mond IV, [1115](#).

Wandkerikel, f. Atom I, [566](#), Wärme VI, [754](#).

Wandker, f. Vergl, [779](#).

Wandkerageninstrument, Durchgangsinstrument, Mittagserntrohr, Mittagserntrohr V, [139](#). Einrichtung [139](#) f. Rectification des Fernrohrs [140](#) bis [144](#). Horizontale Richtung der Axe [140](#). Richtung der Axe von Ost nach West [141](#). Collimationelinie [142](#). Meridianzeichen [143](#). Meridiankreis [144](#). Anwendung des Wandkerageninstrumentes zur Verichtigung des Ganges einer astronomischen Uhr [145](#) f. Galvanisch registrirende Uhren [146](#).

Wandkerate, f. Wände VI, [967](#) ff.

Wandkerivität der Metalle V, [146](#). Geschichtliches [146](#) f. Untersuchungen Schönbein's [147](#) ff. Absolute chemische Indifferenz eines Eisendrahtes, der als positiver Beldraht einer galvanischen Säule gedient hat [150](#). Unvermögen eines passiven Eisendrahtes, aus einer Kupfervitriollösung Kupfer zu fällen [150](#). Wandkerivität des Eisens durch Bleihyperoxyd [151](#). Einige andere Versuche Schönbein's [152](#) f. Ansicht Faraday's über den passiven Zustand des Eisens [154](#). Ansicht Rousson's [154](#) f.; Schönbein's Bedenken hiergegen [155](#). Vertbeidigung der Faraday'schen Ansicht durch Omelin [155](#). Ansicht von Martens [155](#). Versuche von Beetz [155](#) ff. Versuche von Weglar [158](#). Resultat [159](#). Wandkerivität verschiedener anderer Metalle [159](#).

Wandkerstein, f. Vergl, [783](#).

Wandker, f. Ströme VI, [161](#).

Wandker V, [160](#). Begriffsbestimmung [160](#) f. Kreiswendel; einfaches (mathematisches) Wendel; materielles (physisches) Wendel [161](#). Gesetze des Kreiswendels [161](#) ff. Sekundenpendel [164](#). Cycloidenpendel [166](#) f. Nähere Betrachtung des physischen Pendels [166](#) ff. Möglich schnellste Wendelschwingungen eines Körpers [170](#). Correcctionen beim Wendel wegen der veränderlichen Schwingungsweite [172](#), wegen der Temperatur [172](#), wegen des Luftwiderstandes [173](#), wegen der Art der Aufhängung [174](#), wegen der Erhebung über der Meeresfläche [175](#). Regelpendel [175](#) ff. — Anwendung des Wendels [177](#)—[194](#). Anwendung zur Bestimmung der Schwere [177](#) ff. Fadenpendel [179](#); Differenzpendel [180](#); unveränderliches Wendel [180](#); Reversionspendel [180](#) f. (f. auch [170](#)). Länge des Sekundenpendels an verschiedenen Orten [181](#) f. Formel für die Länge des Sekundenpendels [183](#). Uhrpendel [183](#) f. Centrifugalregulator [184](#). Ballistisches

- Pendel **183** f. Anwendung des Pendels zum Beweis für die Krümmung der Erde **186—194**.
 Pendelmessungen, f. Pendel V, **177** ff., Erde II, **886** ff.
 Peritomalbodensander, f. Kalkstein IV, **372**.
 Pentakflaß, f. Augit I, **571**.
 Percussionsmaschine, f. Bewegung I, **812**.
 Perisäum, f. Erdrinde und Gröndäe II, **930**, Planeten V, **336**.
 Perihelium; f. Planeten V, **336**.
 Periode V, **194**.
 Periochische Monat, f. Monat IV, **1103**.
 Periscopische Brillen, f. Brillen I, **913**.
 Perstein, f. Berg I, **783**.
 Permeante Elasticität, f. Elasticität II, **685**, **687**.
 Perpetuum Mobile V, **194—200**.
 Perspective, f. Projection V, **784**.
 Perspectivumme, f. Pumpe V, **305**.
 Petrefacten, f. Geologie III, **513**.
 Pfannenblei, f. Stiefblei IV, **246**.
 Pfeife, f. Ton VI, **110**.
 Pfeifen mit dem Munde, f. Stimme VI, **137**.
 Pfefferquell, f. Bad an der Welle V, **573**.
 Pfefferkraft, f. Mechanische Arbeit IV, **979**.
 Pflanzen, Einfluß des Lichts auf dieselben, f. Licht IV, **472** f., **473** f.; Einfluß des Klimas auf dieselben, f. Klima IV, **279**.
 Pflanzen, leuchtende, f. Licht IV, **504** ff.
 Pflanzenanatomie, f. Nafen, organische I, **737**.
 Pflanzenelectricität V, **200**.
 Pflanzenlängensalz, f. Natrium IV, **202**.
 Pflanzenreife, f. Nektare II, **107**.
 Pfund, f. Maß IV, **900**, **903**, **905**, **911**.
 Phänakristalle, f. Erden V, **818**, Stroboscopische Schreiben VI, **147**.
 Phantastik, f. Erden V, **818**, Stroboscopische Schreiben VI, **147**.
 Phantasmatik, f. Erden V, **818**, Stroboscopische Schreiben VI, **147**.
 Pharaonisches Jahr, f. Aufgang I, **567**.
 Phormalosilic, f. Arsenik I, **360**.
 Pfaffen des Mondes, f. Mond IV, **1107**.
 Phiolenbarometer, f. Barometer I, **636**.
 Phlogistische Theorie, f. Chemie I, **217** f.
 Phlogisten, f. Wärme VI, **748** f., Chemie I, **218**, Verbrennung VI, **473**.
 Phonisches Centrum, f. Gehör II, **592**.
 Phonolith (Ringstein), f. Berg I, **783**.
 Phosphor, f. Kohlenstoff IV, **304**.
 Phosphor V, **202**, Vorkommen **202**.
 Darstellung **203** ff. Reichte Schmelzbarkeit des Phosphor **209**. Leichtes Entzündlichkeit **209** f. Ausdehnung des Phosphor beim Schmelzen **210**. Kalte Wasserzersetzung des Phosphor **210**. Reaktionen des Phosphor **210** f. Verbindung des Phosphor mit Metallen **211** f. Der Phosphor als Gift **213** ff. Amorpher Phosphor **216** ff. Antiphoosphor-Streichhölzchen **219**. Verbindungen des Phosphor mit Sauerstoff **220** ff. Phosphorwasserstoffsäure; Metaphosphorsäure **225**. Modifikationen der Phosphorsäure **226**. Phosphorwasserstoffgas **228** ff. Sonstige Verbindungen des Phosphor **230** f.
 Phosphorcalcium, f. Phosphor V, **230**.
 Phosphore (phosphorescirende Körper), f. Licht IV, **489** ff.
 Phosphoren, f. Gifen II, **621**.
 Phosphorwasserz, f. Licht IV, **489**.
 Phosphorfeuerzeuge, f. Feuerzeuge III, **182**.
 Phosphorige Säure, f. Phosphor V, **220** f.
 Phosphorit, f. Kalk I, **243**.
 Phosphormetalle, f. Phosphor V, **230**.
 Phosphorsäure, f. Phosphor V, **222** bis **228**.
 Phosphorsalz, f. Kohlenstoff IV, **664**.
 Phosphorwasserstoff, f. Calcium I, **923**.
 Phosphor V, **203** f.
 Phosphorwasserstoff, f. Aluminium I, **139**.
 Phosphorwasserstoffammoniak, f. Ammoniak I, **149**.
 Phosphorwasserstoff, f. Natrium V, **16**.
 Phosphorwasserstoffsilber, f. Silber V, **887** f.
 Phosphorflüß, f. Silber V, **889**.
 Phosphorreichhölzchen, f. Feuerzeuge III, **192**, Phosphor V, **218** f.
 Phosphorwasserstoffgas, selbstentzündliches, f. Phosphor V, **228** ff.; nicht selbstentzündliches **229**.
 Photographie V, **231**. Allgemeine Erklärung der photographischen Methode **232**. Geschichte der Entwicklung **232** f. Von den Apparaten, welche bei Ausübung der Photographie gebraucht werden **234—238**. Camera obscura **234** f.; Glasplatten und Differenz zwischen dem chemischen und optischen Brennpunkt **235** ff.; Kassetten, Universalcamera **237** f.; Stativ **238**. Daguerreotypie **238** ff. Vorgehen der Bilder **241**. Galvanische Versilberung **242**. Nagen, Jodieren der Platten **242** f. Photographie auf Papier **243—260**. Glycerin

ung negativer Bilder 244 ff. Apparate 246. Bereitung des negativen Papiers 247. Einlegen in die Kasette 249. Exposition in der Camera 250. Hervorrufen des Bildes 250. Fixation 251. Decken des Hintergrundes; Durchsichtigmachen des Bildes 252. Erzeugung positiver Bilder 253 ff. Bereitung des positiven Papiers 254. Copirrahmen 255. Exposition im Lichte 256. Fixation 257. Retouchiren der Bilder 257 f. Collodiumbilder auf Glas; Leimbilder und Gallertbilder auf Glas 265 f. Gelatiniren positiver Bilder 266. Direct positive Bilder auf Collodium, auf Wachspapier, auf Wachsteintafel u. 266 f. Von dem Aufnehmen der Reduten, der Portraits und dem Copiren der Kupferstiche und plastischer Gegenstände 267 f. Photographische Mikroskopie 268. Heliochromie; Phototypie 269 f. Photographische Notizen u. 271 ff. Photometer V, 273. Allgemeines 274 f. Photometer von Bouguer 275. Rumford's Photometer 276 ff. Leslie's Photometer 279 f. Ritchie's Photometer 281. Vorrichtung von Potter 282, von Wollaston 282 f., von Lampadius 283, von de laistre 284 f., von Ducrest 285. Arago's Abhandlung über Photometrie 286. Photometer von Osann 287. Steinheil's Breitenphotometer 289 f. Talbot's Princip 291 f. Talbot's Schreibe 293. Andere Vorschläge von Talbot 294. Doppler's Photometer 294 f. Bunsen's Photometer 295 ff. Babinet's und Foucault's Photometer 299 f. Schafhäutl's Universal-Vibrations-Photometer 301 ff. Mittlere Helligkeit des Mondes bei seinen verschiedenen Phasen 304 f. Quantitäten des Lichtes, welche von der Oberfläche des Wassers unter verschiedenen Schiefen zurückgeworfen werden 305. Quantitäten des Lichtes, welche von der ersten Oberfläche des zur Verfertigung von Spiegeln dienenden Glases zurückgeworfen werden 305 f. Quantitäten des Lichtes, welche von polirtem schwarzem Marmor zurückgeworfen werden 306. Durchsichtigkeit verschiedener Körper 306 f. Wirkung verschiedener Gasbrenner 307 ff. Leuchtkraft des Holzgases im Vergleich zu der des Steinkohlengases 309. Leuchtkraft des Torfgases 310. — Beleuchtungsvermögen verschiedener Farben 311. Physik V, 312. Geschichtliches 312 f. Einteilung der Physik 313 f. Literatur der Physik 314 ff. — Vergl. Naturwissenschaft V, 24 ff.

Physikalische Geographie, f. Geographie III, 508. Physiologie, f. Naturwissenschaft V, 36. Physiologische Elektricität, f. Thierische Elektricität VI, 343. Physiologische Wirkungen der Elektricität, f. Flasche, elektrische III, 274, Galvanismus III, 361 f. Piccolo, f. Ton VI, 431. Physiologische Farben, f. Farbe III, 44. Piezometer, f. Röhrenleitungen V, 640, Zusammendrückbarkeit tropfbar flüssiger Körper VI, 1112. Pikrinsäure, f. Sticksstoff VI, 130. Pinnsalz, f. Zinn VI, 1103. Pinole, elektrische, Knallpinole, Donnerbüchse V, 316. Einfache elektrische Pinole 316 f. Pictet's Pinole 317 ff. Pitot'sche Röhre, f. Ströme VI, 157. Planconcave Gläser, f. Linsenglas IV, 544 f. Planconvexe Gläser, f. Linsenglas IV, 544 f. Planetarische Nebel, f. Nebelflecke V, 44. Planeten V, 319. Scheinbare Bewegung 320; der unteren Planeten 321. Scheinbarer Lauf der oberen Planeten 323. Siderrische Revolution 327. Verschiedene Planetensysteme 327 ff. Ptolemäisches System 328; copernicanisches System 329 f. Geocentrischer und heliocentrischer Ort 331. Commutation; jährliche Parallaxe; Elongation 332. Tropische Revolution 333. Neigungswinkel der Planetenbahnen 333. Länge und Breite der Planeten 333. Argument der Breite 334. Apogäum, Perigäum; Aphelium, Perihelium 336. Elliptische Bahn der Planeten 337 ff. Mittlere Planeten; mittlere Anomalie, wahre Anomalie; Gleichung der Bahn; elliptische Länge 339 f. Länge des Periheliums 340. Heliocentrischer Ort eines Planeten für irgend eine gegebene Zeit zu finden 340 f. Planetentafeln 341. Kepler'sche Gesetze 341 ff. (f. auch Schwere V, 797 f.). Mittlere Entfernungen verschiedener Planeten von der Sonne 344. Planetoiden 345. Neptun 346 f. Verhältnisse der Umlaufzeiten, Distanzen, Größen, Geschwindigkeiten u. für die 8 großen Planeten 348 f. Mittlere Entfernung und Umlaufzeit der Planetoiden 349 f. Merkur 350. Venus 351. Mars 352. Jupiter 353 f. Saturn 355 ff. Uranus 357 f. Neptun 358 f. Nebenplaneten, Monde, Trabanten, Satelliten 358 f. Nähere Verhältnisse der Monde 360 f.

Planetensysteme, f. Planeten V, [327](#) bis [342](#).
 Planimeter V, [362](#). Begriffsbestimmung [362](#). Planimeter von Oryphor, von Ernst verbessert [362](#) ff. Gang's Planimeter [365](#) f. Wetli'sches Planimeter [366](#) ff. Verbesserung des Wetli'schen Planimeters durch Hansen [370](#) ff. Resultate einer Kreis- messung mit den Hansen'schen Planimeter [373](#) f. Zeiterparniß durch den Gebrauch des Planimeters [374](#). Amöler'sches Polar- planimeter [374](#)—[378](#). Genauigkeit [379](#).
 Platin V, [380](#). Geschichtliches [380](#) f. Vor- kommen des Platin [381](#) f. Zusammen- setzung verschiedener Platinerze [382](#). Dar- stellung [382](#) f. Platinschwamm, Platin- mohr [383](#) ff. Verarbeitung des Platin [385](#) f. Verwendung des Platins zu indu- striellen Zwecken [386](#) f. Verschiedene Eigen- schaften des Platin [388](#). Verbindungen des Platin mit Sauerstoff [388](#) f., mit Schwefel und Chlor [389](#) f. Verbindungen, die durch Einwirkung von Ammoniak auf Platinchlorür entstehen [390](#) ff. Verbindung des Platin mit Brom, Jod und Cyan [392](#). Wirkung des Cyankalium auf Platin [392](#) f. Legirungen des Platin [393](#). Unterschei- dung des Platin von anderen Metallen durch chemische Agentien [393](#).
 Platinamalgam, f. Amalgam I, [140](#).
 Platinbasen, f. Platin V, [390](#) f.
 Platinchlorid, f. Platin V, [389](#) f.
 Platinchlorür, f. Platin V, [389](#).
 Platincyanür, f. Platin V, [392](#).
 Platinerze, f. Platin V, [382](#).
 Platinfeuerzeug, f. Feuerzeug III, [187](#).
 Platinlöffel bei Löthrohrversuchen, f. Löth- rohr IV, [664](#).
 Platiniren, f. Platin V, [387](#), Galvano- plastik III, [399](#) f.
 Platinirte Platinplatten, f. Galvanismus III, [352](#) f.
 Platinisirte Kohle, f. Platin V, [384](#) f.
 Platinmohr, f. Platin V, [383](#) f.
 Platinoryd, f. Platin V, [389](#).
 Platinorydhydrat, f. Platin V, [389](#).
 Platinorydul, f. Platin V, [389](#).
 Platinschwamm, f. Platin V, [383](#).
 Platinschwartz, f. Platin V, [383](#) f.
 Platinsulfcyanverbindungen, f. Platin V, [393](#).
 Platonisches Jahr, f. Nachtgleichen V, [2](#).
 Platten, schwingende, f. Wellenbewe- gung VI, [900](#) ff.
 Plagregen, f. Regen V, [610](#).
 Plagung beim Einschlagen des Bliges, f. Gewitter III, [573](#).
 Pneumatik, f. Mechanik IV, [955](#).

Pneumatisches Feuerzeug, f. Feuerzeug III, [183](#).
 Poetischer Auf- und Untergang, f. Auf- gang I, [567](#).
 Pol, f. Pole V, [468](#).
 Polareis, f. Eis II, [607](#) ff.
 Polarisation des Lichtes V, [393](#). Er- scheinungen am Kalkspath; Polarisation durch doppelte Brechung [394](#) ff. Polari- sation durch Reflexion [396](#) f. Turmalin; Seraphit [397](#) f. Nicol'sches Prisma [398](#). Polarisationsapparate [399](#) ff. Appa- rat von Nörrenberg [399](#) f. Apparat von Dove [400](#) ff. Relation zwischen dem Po- larisationswinkel und dem Brechungsver- hältniß [404](#) f. Winkel der vollständigen Polarisation [405](#). Polarisation durch innere Reflexion [405](#) f. Theorie der Polari- sationerscheinungen [406](#) ff.; nach der Un- dulations- (Vibrations-) Theorie [407](#) ff. Transversale Schwingungen des Aethers [408](#). Schwingungsebene [409](#). Gerad- linig polarisirter Lichtstrahl [409](#). Circulare und elliptische Polarisation [410](#) ff. Links- gedrehter (circular = polarisirter) Strahl [414](#). Rechtsgedrehter (circular = polarisirter) Strahl [415](#). Erscheinungen des circular polarisirten Lichtes [417](#) ff. Gesetze für den Bergkry stall [418](#). Circularpolarisirende Flüssigkeiten [419](#) f. Drehung der Polari- sationsebene durch den galvanischen Strom (oder Magnetismus) [421](#). Weiterer Nach- weis bezüglich der circularen Polarisation [421](#) f. Fresnel'sches Parallepipet [423](#) f. Thatsächliches Vorhandensein der elliptischen Polarisation [425](#) ff. Körper mit positiver und negativer Reflexion [425](#) f. Compensator [427](#). Theilweise polarisirtes Licht [427](#). Polariskope [428](#) f. Vervollständi- gung der Polarisation durch wiederholte Reflexionen [429](#) f. Intensitätsverhältnisse [430](#) f. Bewegung der Polarisationssebene [432](#). Natürliches Licht [432](#) f. Depola- risirtes Licht [433](#). Polarisirtes Licht des blauen Himmels [433](#) f. — Wellenmaschine [434](#) ff. — Farbenphänomene durch pola- risirtes Licht [437](#) ff. Ein- und zweiarige Krystalle [438](#) f. Krystalle mit Einer Axe, auf welche das Lichtbündel senkrecht gegen die Axe fällt [439](#) f. Theorie der beweg- lichen Polarisation [441](#). Erklärung nach der Vibrationstheorie [441](#) ff. Krystalle mit Einer Axe, auf welche das Lichtbündel schief auffällt [445](#) f. Parallele Doppel- lung; kreuzweise Doppelung [446](#). Krystalle mit zwei Aren [447](#). Farbige Ringe einaxiger Krystalle [448](#) ff. Far- bige Ringe bei Krystallen mit zwei Aren [450](#) f. Isochromatische Linien [452](#). Unter-

- scheidung zweieriger Krystalle von einaxigen 452 f. Verschiedene Richtung der optischen Axen für die verschiedenen brechbaren Strahlen 453. Isotrope, heterotrope Mittel 454. — Polarisationserscheinungen gefühlter und gepresster Gläser 454. Benützung der Polarisationserscheinungen des Lichtes zu praktischen Zwecken 455 ff. Sonnenuhr (Polaruhr) 455. Anwendung der circularen Polarisation zur Untersuchung von Zuckertösungen u. 456 f. Stauroskop 458. Polarisationsmikroskop 458.
- Polarisation des Schalles, f. Wellenbewegung VI, 943.
- Polarisation der Wärme V, 458. Polarisation der Wärmestrahlen durch Reflexion 459, durch einfache Brechung 460 ff., durch doppelte Brechung 464 ff. Drehung der Polarisationsebene der Wärmestrahlen 466 f. Elliptische Polarisation der Wärmestrahlen 467.
- Polarisation, elektrochemische, f. Galvanismus III, 380 ff. Strom, elektrischer VI, 187.
- Polarisationsebene, f. Polarisation des Lichtes V, 396, 397.
- Polarisationsmikroskop, f. Polarisation des Lichtes V, 458.
- Polarisationswinkel, f. Polarisation des Lichtes V, 397, 404 f.
- Polarisator, f. Polarisation des Lichtes V, 399.
- Polariscope, f. Polarisation des Lichtes V, 428.
- Polarität, magnetische, f. Magnetismus IV, 743 f., 748, 797.
- Polarfreise V, 468.
- Polarlicht, f. Nordlicht V, 81.
- Polarstern, f. Circumpolarsterne I, 977.
- Polarzone, f. Klima IV, 278.
- Pole V, 468. — Magnetismus IV, 743 f., 748, 797; Galvanismus III, 315.
- Pohlhöhe V, 468. — Vergl. Circumpolarsterne I, 977.
- Polinjen, f. Eis II, 611.
- Polirschiefer, f. Berg I, 783, Silicium V, 900.
- Politische Geographie, f. Geographie III, 508.
- Polplatten, f. Galvanismus III, 339 f.
- Polyspast, f. Rolle V, 643.
- Poren, f. Porosität V, 469.
- Pororosa, f. Ebbe und Fluth II, 883.
- Porosität V, 469.
- Porphyr, f. Berg I, 782.
- Porzellanerde, f. Berg I, 783.
- Porzellanjaspis, f. Berg I, 783.
- Posaune, f. Ton VI, 431.
- Positionsmikrometer, f. Mikrometer IV, 1033.
- Positive Electricität, f. Electricität II, 718 ff. Galvanismus III, 316, 367.
- Positives Bild, f. Photographie V, 232, 283. Funke, elektrischer III, 296.
- Potassium, f. Kalium IV, 192.
- Potenzflaschenzug, f. Rolle V, 643.
- Pottasche, f. Kalium IV, 202.
- Pottaschenwage, f. Aräometer I, 331.
- Präcession, f. Nachtgleichen V, 2.
- Präcipitat, weißer, f. Quecksilber V, 546.
- Präcipitation, f. Fällung III, 1.
- Prädisponirende Verwandtschaft, f. Verwandtschaft, chemische VI, 547.
- Präparatmikroskop, f. Mikroskop IV, 1048.
- Präparatsalz, f. Zinn VI, 1099.
- Präservativbrillen, f. Brillen I, 914.
- Presbyopisch, f. Sehen V, 833.
- Presse V, 472. A. Schraubenpresse 472 ff. Hüntersche Differentialschraubenpresse 473. B. Hebelpresse 476 f. C. Kniehebelpresse 477 f. D. Keilpresse 479 ff. Cylinderpresse 481. E. Hydraulische Presse 481 ff. Hydraulische Presse von Röppelin 485. Hydrostatische oder Real'sche Presse 486. Luftpresse Romershausen's 486.
- Presse, hydrostatische (Real'sche), f. Presse V, 486.
- Presse, hydraulische (Wramah'sche), f. Presse V, 481 ff.
- Princip der virtuellen Geschwindigkeiten, f. Statik VI, 79, Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte VI, 1023, 1131.
- Prisma, Brechung des Lichtes in demselben, f. Brechung I, 876, Brechbarkeit I, 866, 868 f., Farbe III, 23 ff.
- Prismenocular, terrestrisches, f. Fernrohr III, 117.
- Prismenphotometer, f. Photometer V, 289.
- Prismenstereoskope, f. Stereoskop VI, 108 ff.
- Probefcheibchen, f. Electricität II, 724.
- Probirhähne, f. Dampfmaschine II, 340.
- Probirnadeln, f. Gold III, 631.
- Probirstein (Probirtafel), f. Gold III, 631.
- Procentaräometer, f. Aräometer I, 303.
- Projectil, f. Wurfbewegung VI, 1033.
- Projection V, 487. Projection eines Punktes, einer Linie, einer Ebene; Horizontal- und Vertikalprojection; Perspective 487. Perspectivische Projection; orthographische, isometrische Perspective 488.

Stereographische Projection [488](#) f. Regel-
projection; Mercator's Projection; re-
ctirte Karten; Lerodromien [489](#).
Projection einer Kraft auf eine Are, f. Druck
II, [557](#).
Projectoren, f. Heizung III, [743](#).
Proportionen, chemische, f. Verwandt-
schaft, chemische VI, [568](#) ff.
Protuberanzen, f. Mond IV, [1116](#).
Pseudoblephie, f. Sinne V, [939](#).
Pseudokryalle, f. Kry stall IV, [383](#).
Pseudomorphosen, f. Kry stall IV, [383](#).
Psychrometer, f. Hygrometer III, [893](#) f.
Puddlingeöfen, f. Eisen II, [623](#).
Pulshammer, f. Wasserhammer VI, [791](#).
Pulveraräometer, f. Aräometer I, [336](#).
Pulversignal zu Längenbestimmungen, f. Me-
ridian IV, [1018](#) f.
Pumpe V, [490](#). Kolbenpumpen [490](#) ff.
Saugpumpe [490](#). Saug- und Hebpumpe
[491](#). Saug- und Druckpumpe [492](#). Theorie
der Kolbenpumpe [492](#) ff. Länge der Saug-
röhre [492](#); Nutzeffect [493](#); Nebenhinder-
nisse [493](#) ff. Aufgabe [496](#). GröÖte Kol-
bengeschwindigkeit einer Saugpumpe [497](#) ff.
Windfessel [499](#). Einrichtung der Kolben
und Ventile [500](#) ff. Besondere Pumpen-
constructionen [503](#). A. Pumpen mit un-
unterbrochener Wasserbewegung [503](#) ff.
Combining zweier doppeltwirkender Pum-
pen. Althans Perspektivpumpe [503](#). Tay-
lor's Pumpe mit zwei Kolbenstangen [506](#).
B. Pumpen ohne Kolbenreibung [506](#) ff.
C. Pumpen mit retirenden Kolben [507](#) ff.
Centrifugalpumpen [510](#) ff. Centrifugal-
druckpumpe [514](#) f.
Pupille, f. Sinne V, [914](#).
Purpe, chinesische, f. Statif VI, [81](#) (An-
merk.).
Purga, f. Schnee V, [746](#).
Pyrgon, f. Augit I, [572](#).
Pyrheliometer, f. Wärme VI, [720](#).
Pyrmesenstein, f. Antimon I, [240](#).
Pyroelectricität, f. Thermoelectricität
VI, [273](#).
Pyrogallussäure, f. Gallussäure III, [304](#).
Pyrometer V, [513](#). Verschiedene Wege
zu pyrometrischen Bestimmungen [516](#) ff.
Pyrometer von Wegwood [518](#). Pyro-
meter von Guxton de Morveau [520](#). Re-
gisterpyrometer [520](#) f. Pyrometer von
Peterson [521](#). Luftpyrometer [522](#) ff. Uni-
versalpyrometer [523](#). Magnetisches Pyro-
meter [523](#) f.
Pyrophor V, [527](#).
Pyrophosphorsäure, f. Phosphor V, [223](#),
[223](#).
Pyrosmaragd, f. Licht IV, [498](#).

Quadrant V, [528](#). Mauerquadrant [528](#) f.
Tragbare Quadranten [530](#). Sextanten,
Octanten [530](#). Gambey'scher Mauerkreis
[530](#) f.
Quadrantenelektrometer, f. Elektrometer
II, [824](#).
Quadrat, f. Kry stall IV, [360](#).
Quadratocäeder, f. Kry stall IV, [366](#).
Quadratur, f. Aspecten I, [363](#). Mond
IV, [1107](#) f.
Qualität, f. Eigenschaft II.
Quart, f. Maß IV, [903](#).
Quarte, f. Ton VI, [384](#).
Quartflöte, f. Ton VI, [431](#).
Quarz, f. Silicium V, [898](#).
Quecksilber V, [532](#). Vorkommen [532](#) f.
Reines und unreines Quecksilber [533](#). Er-
starren des Quecksilbers [533](#). Specif. Ge-
wicht; Wärmeleitung [533](#) f. Sonstige
Eigenschaften [534](#) f. Verbindungen des
Quecksilbers mit Sauerstoff [535](#). Salze
[535](#) ff. Amalgam [538](#) f. Verbin-
dungen des Quecksilbers mit Schwefel [540](#) f.
Schwefelquecksilber [540](#); Zinnober [541](#) f.
Verbindungen des Quecksilbers mit Chlor
[542](#) ff. Verbindungen des Quecksilbers
mit Brom [546](#), mit Cyan [546](#) f. Erken-
nung der Gegenwart kleiner Quecksilber-
mengen [547](#). Quantitative Bestimmung
des Quecksilbers [547](#).
Quecksilberbromid, f. Quecksilber V, [546](#).
Quecksilberbromür, f. Quecksilber V, [546](#).
Quecksilberchlorid, f. Quecksilber V, [546](#).
Quecksilberchlorür, f. Quecksilber V, [542](#).
Quecksilbercyanid, f. Quecksilber V, [546](#).
Quecksilberdampf, f. Quecksilber V, [534](#).
Quecksilberjodid, f. Quecksilber V, [546](#).
Quecksilberluftpumpe, f. Luftpumpe IV,
[734](#).
Quecksilberoxyd, f. Quecksilber V, [536](#).
Quecksilberoxyd-Ammoniak, f. Quecksilber
V, [539](#).
Quecksilberoxydul, f. Quecksilber V, [533](#).
Quecksilberpendel, f. Compensation I,
[991](#).
Quecksilbersulfuret, f. Quecksilber V,
[540](#).
Quecksilberthermometer, f. Thermometer
VI, [301](#) ff.
Quecksilberuhr, f. Ebene, schieffell, [387](#) ff.
Quelle, Quell, Brunnen V, [547](#).
Zu Tage gehende und unterirdische Quellen
[547](#) f. Bohrbrunnen oder Artesische Brun-
nen [548](#). Entstehung der natürlichen Quel-
len [548](#), [550](#) f. Wurzelsystem einer Quelle
[549](#). Abhängigkeit der Quellen von der
Structur und Lagerung der Gesteine [549](#) f.
Einfluß des Waldes und des Schnees (auf
Hochgebirgen) [550](#). Herenbrunnen auf dem

Brocken [331](#). Einfluß verschiedener Gebirgsarten [331](#) f. Nähere Betrachtungen der artesischen Brunnen [332](#) ff. Bohrbrunnen in China; Gasquellen [333](#) f. Bohrbrunnen in Italien, Deutschland, Frankreich, England, Nordamerika [334](#). Bohrversuche auf Springquellen [334](#) f. Temperatur des Quellwassers [335](#) ff. Geoisothermen [336](#). Tabelle über Quellentemperaturen [337](#) ff. Kalte und warme Quellen [339](#) f. Temperaturen einiger warmen Quellen Europas [360](#). Chemische Beschaffenheit des Quellwassers [361](#) ff. Mineralwasser; Säuerlinge (ächte und unächte), Stahlwasser, Salzquellen (Soolen) [362](#); Schwefelwasser, Salpeterquellen, borsaurehaltige Quellen, incrustirende Quellen; Quellen mit freien Mineralsäuren; Naphthaquellen u. [363](#) f. Entstehung der Mineralwasser [364](#) f. Raiserbrunnen (Hungerquellen) [363](#). Quellen an den Küsten des Meeres [363](#) f. Intermittirende Quellen [363](#) f. Ursache der Intermittenz [366](#). Geiser auf Island [366](#) ff. Geiserbezirk [366](#) f. Thermometrographische Messungen [367](#). Ursache der Eruption [367](#) ff. Stroffe [369](#). Quellen aus condensirtem Wasserdampf in vulkanischen Gegenden [370](#). Geschichtliches [370—372](#). Verschiedene chemische Analysen von Fluß-, Quell- und Brunnenwasser, s. im Art. Wasserstoff VI, [828](#).
 Quellen, incrustirende, s. Quelle V, [363](#).
 Quellen, intermittirende, s. Quelle V, [363](#) f.
 Querare, s. Krystall IV, [361](#).
 Querichitel, s. Krystall IV, [362](#).
 Querthäler, s. Berg I, [779](#).
 Dickbrei, s. Amalgam I, [140](#).
 Quinte, s. Ton VI, [333](#).

Rad an der Welle, Radwelle V, [372](#).
 Einrichtung; Verhältniß zwischen Last und Kraft [372](#) f. Radhaspel, Spillenhaspel, Kreuzhaspel, Hornhaspel; stehende Radwelle; Winden, Göpel [373](#). Lauf- und Tretrad, Sprossenrad, Tretscheibe [374](#) f.
 Rad und Getriebe, s. Räderwerk V, [373](#).
 Radbarometer, s. Barometer I, [672](#).
 Radhaspel, s. Rad an der Welle V, [373](#).
 Radical, s. Säuren V, [671](#), [676](#), Basen I, [747](#). Salze V, [678](#), [683](#).
 Radii Vectores, s. Radiusvector.
 Radiusvector, s. Anomalie I, [231](#), Planeten V, [337](#), [341](#) f. Bewegung I, [830](#).
 Radfirene, s. Ton VI, [400](#).
 Radventilator, s. Ventilator VI, [467](#).
 Räderwerk V, [373](#). Einrichtung; Zähne. Stern- (Stirn-)rad, Kron- oder Ramm-

rad; konisches Rad; Getriebe; Trilling (Drehling) [313](#). Verhältniß zwischen Kraft und Last [376](#). Verhältniß der Wege von Kraft und Last [377](#). Umläufe des Getriebes gegen einen Umlauf des Rades [377](#) f. Anzahl der Zähne u. Triebflüße [378](#). Gestalt der Zähne [378](#) f. Einfache Fuhrmannswinde; zusammengesetzte Winde [379](#).
 Kranh oder Kranich [380](#).
 Raffinirter Stahl, s. Eisen II, [626](#).
 Rammbar, s. Rammme V, [380](#).
 Rammme V, [380](#). Handramme; Rammmaschinen [380](#) ff.
 Rammkloß, s. Rammme V, [380](#).
 Rammfau, s. Rammme V, [380](#).
 Rampe, s. Eisenbahn II, [657](#).
 Randgebirge, s. Berg I, [769](#).
 Ravilli, s. Vulkan VI, [611](#).
 Raseneisenstein, s. Eisen II, [622](#).
 Raß, s. Eisen II, [622](#).
 Rattengift, s. Arsenik I, [356](#).
 Rauch, s. Heizung III, [723](#) f., Höhenrauch III, [852](#) f., Nebel V, [42](#). Vulkanischer Rauch, s. Vulkan VI, [610](#).
 Rauchtropas, s. Silicium V, [808](#).
 Rauchverzehrende Herde, s. Heizung III, [743](#) ff.
 Rauheit der Oberfläche der Körper, s. Reibung V, [627](#) f.
 Raumverhältnisse beim freien Fall der Körper, s. Bewegung I, [813](#), Fall der Körper III, [7](#) ff., 10, Fallmaschine III, [17](#) ff.
 Rauminhalt von Gefäßen, s. Gewicht III, [547](#).
 Regenregen, s. Regen V, [613](#).
 Rauchgelb, s. Arsenik I, [360](#).
 Rauten, s. Krystall IV, [360](#).
 Reaction, s. Druck II, [539](#).
 Reaction ausströmender Flüssigkeiten, s. Mechanik der Flüssigkeiten IV, [973](#).
 Reagens, s. Agens I, [126](#).
 Reagentien bei Löthrohrversuchen, s. Löthrohr IV, [664](#) f.
 Realgar, s. Arsenik I, [360](#).
 Real'sche Presse, s. Presse V, [486](#).
 Réaumur'sche Scale, s. Thermometer VI, [296](#), [317](#) f.
 Rectiläufige Bewegung der Planeten s. Planeten V, [320](#) (Anmerkung).
 Recipient der Luftpumpe, s. Luftpumpe IV, [716](#).
 Rectascension, s. Aufsteigung I, [569](#).
 Rectification, Passageninstrument V, [140](#).
 Rectificiren, s. Destillation II, [469](#).
 Reducirte Länge der Planeten, s. Planeten V, [333](#).
 Reducirte Masse, s. Trägheitsmoment VI, [441](#). Pendel V, [167](#) f.

Reducirende (Reductions-) Flamme, s. Löthrohr IV, [663](#).
 Reduction der Metalle, s. Kohlenstoff IV, [302](#). Desoxydiren II, 467.
 Reduction des Barometerstandes, s. Barometer I, 702.
 Reduction der Schwingungszahl eines Pendels auf den luftleeren Raum, s. Pendel V, [173](#).
 Reduction gegebener Thermometergrade auf andere, s. Thermometer VI, [318](#).
 Reduction einer Masse auf eine gewisse Entfernung, s. Trägheitsmoment VI, [440](#) f.
 Reductionen bei Gewichtsbestimmungen, s. Gewicht III, [543](#).
 Reflectirter Lichtstrahl, s. Optik V, [97](#).
 Reflectoren (katoptrische Fernrohre), s. Fernrohr III, [103](#).
 Reflexion des Lichtes, s. Optik V, [97](#), Licht IV, [523](#); unregelmäßig reflectirtes (zerstreutes, diffuses) Licht s. Licht IV, [519](#).
 Reflexion der Wärmestrahlen, s. Wärme VI, [616](#), [632](#) f.; diffuse Reflexion der Wärmestrahlen, s. Wärme VI, 639—[643](#).
 Reflexionsanemometer, s. Anemoskop I, 180.
 Reflexionsebene (= Einfallsebene), s. Optik V, [97](#).
 Reflexionsgesetz, s. Optik V, [97](#).
 Reflexionsgoniometer, s. Goniometer III, [633](#).
 Reflexionswinkel, s. Optik V, [97](#).
 Refraction des Lichtes, s. Brechung des Lichtes (im Register).
 Refraction des Schalles, s. Brechung des Schalles (im Reg.).
 Refraction der Wärme, s. Brechung der Wärme (im Reg.).
 Refractoren (dioptrische Fernrohre), s. Fernrohr III, 100 ff.
 Regen V, [582](#). Feuchtigkeitszustand der Luft [582](#). Regentropfen [583](#). Regen aus heiterem Himmel [583](#). Regen der Tropenzone [584](#) f. Bedeutung des Fortrückens der Galmenregion für die tropischen Regen [585](#) f. Einfluß localer Temperaturunterschiede [586](#) f. Wirkung kleiner Inseln auf die über ihnen befindliche Atmosphäre [587](#). Einfluß der Cultur des Landes (in heißen Gegenden) auf den Regen [588](#). Regen der Monsoons [588](#) f. Subtropische Regen [589](#) f. Gemeinschaftliche Ursache der an den Grenzen der tropischen Zone im Winter herabfallenden Regen und der im südlichen Europa regelmäßig eintretenden Herbstregen [590](#). Gesamtheit der Regenverhältnisse der gemäßigten Zone [590](#). Einfluß eines Gebirges, welches sich von Ost nach West erstreckt [591](#). Regenverhältnisse Italiens [591](#)—[595](#). Regen-

verhältnisse des südlichen Frankreichs [595](#) bis [596](#). Beobachtungsreihen für Paris [597](#). Regen an der Westseite von England und in Irland [597](#) ff. Südküste und Inneres von England [599](#). Inneres und Ostküste von England [599](#) f. Inneres von England und Schottland [600](#). Zweierlei Entstehungsart wässeriger Niederschläge durch horizontal bewegte Luft [601](#). Einfluß der Gebirge auf den Regen [601](#) ff. Regensteigernder Einfluß eines Gebirges [602](#). Rückblick auf England [602](#) f. Einfluß der Höhe eines Gebirges auf die dem Regenwind entgegengesetzte Seite [603](#). Wetterscheiden [603](#). Südliche Erdhälfte [603](#). Regenverhältnisse durch den herabkommenden Aequatorialluftstrom [603](#) f. Hemmung dieses Stromes durch die Alpen; Überschwemmungen in der Lombardei, Trockenheit (während des Frühlings) im nördlichen Deutschland bei hohem Barometerstand: Regenzeit im nördlichen Deutschland, sobald die Aequatorialwinde die Alpenkette unbehindert übersteigen können [604](#). Das Aequatorialmeer als Hauptquelle des Wassergehaltes unserer Atmosphäre [604](#). Die Südwestseite als Wetterseite von Deutschland, wie überhaupt auch von der gemäßigten Zone der nördlichen Erdhälfte [605](#). Einfluß des Verlaufs der Gebirge auf die Regenverhältnisse [605](#). Trockenheit der Luft Amerikas [605](#) f. Die Südwest- und Westwinde als Regenwinde [606](#) f. Einfluß des Windes auf die Regenmenge [607](#). Regenmenge an verschiedenen Orten der Erdoberfläche [609](#) f. Staubrege, Plagregen, Wolkenbruch [610](#). Beschaffenheit des Regenwassers [610](#) f. Blutregen, Schwefelregen, Aschenregen, Thierregen [611](#) f. Mäuse- und Froschregen [613](#). Bezüglich der Gewitterregen s. d. Art. Gewitter III, 560 ff., [597](#), [600](#) ff., Luftelectricität IV, 684, 691 ff., [694](#) f.
 Regenbogen V, [613](#). Haupt- und Neb Regenbogen [613](#) f. Weg eines Sonnenstrahles durch einen kugelförmigen Regentropfen [614](#) f. Wirksame prismatische Farbstrahlen [615](#) f. Breite des Regenbogens [616](#). Erklärung des Neb Regenbogens [617](#) f. Experimentale Prüfung der Theorie [618](#). Secundäre (überzählige, Supernumerar-)Bogen [618](#). Erklärung dieser Bogen [618](#) ff. Weißer Regenbogen [620](#) f. Umgekehrte und sich durchschneidende Regenbogen [622](#). Mondregenbogen [622](#).
 Regenbogenhaut, s. Sinne V, [911](#).
 Regengallen, s. Regenbogen V, [622](#).
 Regenmesser V, [622](#). Gewöhnlicher Mes-

- genmesser 622 f. Regenmesser im Observatorium zu Paris 623. Selbstregistrierende Regenmesser 624 ff., von Horner 624, von Mohr 626 f.
- Regentropfen, f. Regen V, 382, — deren Größe 383.
- Regenwasser, f. Regen V, 610 ff.
- Regenwolke, f. Wolken VI, 1019 f.
- Regenzeit, f. Regen V, 384 f.
- Register, f. Ton VI, 432.
- Registerpyrometer, f. Pyrometer V, 320 f.
- Regulator bei Gebläsen, f. Gebläse III, 497 f.
- Regulator bei Dampfmaschinen (Centrifugalregulator), f. Pendel V, 184, Dampfmaschine II.
- Regulator bei Pumpen, f. Pumpe V, 499 f.
- Regulator bei Uhren, f. Pendel V, 183, Chronometer I, 972.
- Regulator bei Gasanstalten, f. Gasbeleuchtung III, 460.
- Regulatoren, f. Maschine IV, 888 f.
- Regulus, f. Schmelzen V, 738.
- Reiben der Körper aneinander, als Bewegungshinderniß, f. Reibung V, 627; — Erzeugung von Licht durch Reiben, f. Licht IV, 483 f.; — Erzeugung von Wärme durch Reiben, f. Wärme VI, 728 f. (709); — Erzeugung von Electricität durch Reiben, f. Electricität II, 717, 743 ff.
- Reibung V, 627. Reibung der Ruhe und Reibung der Bewegung; gleitende und rollende Reibung; Zapfenreibung 628. Gesetze der Reibung 628 f. Reibungscoefficient, Reibungswinkel 629. Methoden zur Ermittlung des Reibungscoefficienten 629. Coefficient für die Zapfenreibung 630. Mechanische Arbeit der Reibung 630. Gleitende Reibung bei einem conisch gearbeiteten Hahn 630 f. Tabelle des Reibungscoefficienten verschiedener in der Praxis vorkommender Körper (für gleitende Reibung) 631 f. Tabelle für Zapfenreibung 632 f. Reibung bei ausgelaufenen Zapfen 633. Frictionsräder 633. Reibung bei einer stehenden Welle 634. Reibung leichter drehender Körper auf Spitzen, Schneiden sc. 634. Wälzende Reibung 634 f. Reibung eines biegsamen Seils, das um die Peripherie eines festliegenden Cylinders gelegt ist 635 f.
- Reibungscoefficient, f. Reibung V, 629 ff.
- Reibungscurve, f. Reibung V, 630.
- Reibungselectricität, f. Electricität II, 717, 743 ff.
- Reibungswinkel, f. Reibung V, 629.
- Reibzeug, f. Elektrifizirmaschine II, 767.
- Reif V, 636. Entstehung und verschiedene Arten desselben 636 f., Glätteis 637.
- Reihen-Vulkane, f. Vulkan VI, 609.
- Reisebarometer, f. Barometer I, 673.
- Reißblei, f. Kohlenstoff IV, 290.
- Relativ, f. Absolut I, 17.
- Relative Bewegung, f. Bewegung I, 806.
- Relative Eigenschaften, f. Eigenschaft II.
- Relative Feuchtigkeit, f. Atmosphäre I, 349, Hygrometer III, 888 ff., 893 f. 902 f.
- Relative Ruhe, f. Bewegung I, 806.
- Relatives Dampfvolumen, siehe Dampfmaschine II, 243, 285 ff. 291.
- Relatives Gewicht, f. Ebene II, 386.
- Repulsion, f. Abstoßung (im Register).
- Resonanz, f. Wellenbewegung VI, 941.
- Resonanzboden (Resonanzkasten), f. Ton VI, 428 f.
- Resonanzfiguren, f. Wellenbewegung VI, 944.
- Respiration, f. Athmen I, 427.
- Resultante, Resultirende V, 637. Bewegung I, 817 ff., Statik VI, 70 f., Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte VI, 1118 f.
- Retina, f. Sinne V, 913.
- Retorte, f. Destillation II, 469 f.
- Retrograde Bewegung der Planeten, f. Planeten V, 320 (Anmerkung).
- Reversionspendel V, 170, 180.
- Revolutionen der Planeten: siderische, tropische synodische, f. Planeten V, 327, 332 f., 334.
- Rheometer V, 637.
- Rheometer zur Bestimmung der Geschwindigkeit des strömenden Wassers, f. Ströme VI, 153.
- Rheophor V, 637.
- Rheostat, f. Strom, elektrischer VI, 176.
- Rhodan, f. Kohlenstoff IV, 320.
- Rhodanwasserstoffsäure, f. Kohlenstoff IV, 320 (Anmerkung).
- Rhodium V, 637. Vorkommen, Darstellung, Eigenschaften 638 f.
- Rhodiumchlorid, f. Rhodium V, 638.
- Rhodiumchlorür, f. Rhodium V, 638.
- Rhodiumoxyd, f. Rhodium V, 638.
- Rhodiumoxydul, f. Rhodium V, 638.
- Rhomben, f. Krystall IV, 360.
- Rhombendodekaeder, f. Krystall IV, 361.
- Rhomboeder, f. Krystall IV, 373.
- Rhomboide, f. Krystall IV, 360.
- Richmann'sche Regel, f. Wärme VI, 687.
- Richtung des Druckes, f. Druck II, 357.
- Richtung der Gebirge, f. Berg I, 672; Eins-

fluß der Richtung eines Gebirges auf den Regen, f. Regen V, [591](#), [601](#) ff.
 Richtung der Schwere, f. Schwere V, 795.
 Richtung des Windes, f. Winde VI, 990; Einfluß desselben auf den Barometerstand 996, auf die Luftelektricität, f. IV, [693](#), auf den Ozongehalt der Atmosphäre, f. Ozon V, [120](#) f., auf die Feuchtigkeit der Atmosphäre VI, 996 auf den Schall, f. Wellenbewegung VI, [924](#).
 Richtungslinie des Druckes, f. Druck II, [558](#).
 Ricochettiren beim Aufschlagen eines bewegten Körpers auf Wasser, f. Mechanik der Flüssigkeiten IV, [968](#).
 Riechen, f. Sinne V, [911](#).
 Riechende Nebel, f. Nebel V, [41](#).
 Riesengebirge, f. Berg I, [767](#).
 Riffe, f. Meer IV, [989](#).
 Ringförmige Nebel, f. Nebelflecke V, 41.
 Ringförmige Sonnenfinsterniß, f. Mond IV, [1113](#).
 Ringfugel, Armillarsphäre V, [639](#).
 Roberval'sche Wage, f. Wage VI, [789](#).
 Rochon's Prisma, f. Mikrometer IV, [1039](#).
 Röhren, tönende (offene und an einem Ende geschlossene, gedeckte), f. Ton VI, [409](#) ff., Wellenbewegung VI, 926—936.
 Röhrenachse, f. Achse I, 101.
 Röhrenleitungen V, [639](#). Widerstand gegen die Bewegung der Flüssigkeit in Röhren [639](#) f. Lange cylindrische Wasserrohre [640](#). Piezometer [640](#). Zunahme der Geschwindigkeit von der Wand nach der Mitte hin [641](#). Druck der Flüssigkeit (des Wassers) gegen die innere Röhrenwand [641](#) (f. auch Statik VI, [90](#) f.). Wanddicke der Röhren [641](#) f. Ausfluß der Luft und Gase durch lange Röhren [642](#) f. — Bezüglich des Materials für Wasserleitungsrohre vergl. auch den Art. Wasserstoff VI, [834](#).
 Röhrenlibelle, f. Libelle IV, 463 f.
 Röhrenträger, f. Festigkeit III, [130](#). Linie, elastische IV, 536.
 Römer-Zinszahl, f. Cyclus I, 1017.
 Römische Wage, f. Wage VI, [781](#).
 Rösche, f. Bewegung des Wassers I, [847](#).
 Röstarbeit, f. Blei I, [852](#).
 Roheisen, f. Eisen II, [624](#).
 Rohstahl, f. Eisen II, 626.
 Rolle V, [643](#). Erklärung [643](#) f. Feste und bewegliche Rollen [644](#). Verhältniß zwischen Kraft und Last bei der festen Rolle [644](#) f.; bei der beweglichen Rolle [645](#). Flaschenzug [645](#) ff. Potenzflaschenzug [645](#) f.; gemeiner Flaschenzug [646](#). Andere Art des Potenzflaschenzuges [647](#).

Vorteile und Nachteile der verschiedenen Flaschenzüge [647](#).
 Rollen des Donners, f. Gewitter III, [397](#) f.
 Rollende Reibung, f. Reibung V, [628](#).
 Rose'sches Metallgemisch (Rose'sche Legirung), f. Ausdehnung I, [582](#), Legirung IV, [420](#).
 Roß, Roßen, f. Eisen II, 620 ff., Metalle IV, 1023 f.; Schutz des Eisens gegen das Roßen, f. Galvanismus III, 336.
 Roß (bei Heizungsanlagen), f. Heizung III, [740](#) ff.
 Roßpendel, f. Compensation I, 985.
 Rotation (Drehung) eines Körpers um sich selbst (oder um seine Axe), f. Axe I, [652](#), Trägheitsmoment VI, [437](#), Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte VI, 1131 ff.; Rotation der Erde um ihre Axe, f. Erde II, [901](#) ff. und Pendel V, 186 f.; Rotation der Sonne um ihre Axe, f. Sonne VI, [15](#), [20](#) ff.
 Rotation eines Körpers um einen außerhalb desselben gelegenen Punkt (oder um einen anderen Körper), f. Bewegung I, 830 f. Planeten V, 336 ff., Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte VI, [1128](#) f.
 Rotationen, elektromagnetische, f. Elektromagnetismus II, [788](#) ff.
 Rotationen, magnetoelctrische, f. Induction, elektrische IV, [14](#) ff.
 Rotationsapparate, elektromagnetische, f. Elektromagnetismus II, [788](#) ff.
 Rotationsapparate, magnetoelctrische, f. Induction, elektrische IV, [33](#) ff.
 Rotationsdampfmaschinen, f. Dampfmaschine II, [412](#) ff.
 Rotatorische Bewegung bei Erdbeben, f. Erdbeben II, [858](#).
 Rothbrüchiges Eisen, f. Eisen II, [625](#) f.
 Rotheiseneisen, f. Eisen II, [621](#).
 Rothes Quecksilberoxyd, f. Quecksilber V, 536.
 Rothspiesglanzerz, f. Antimon I, [233](#).
 Rubinschwefel, f. Arsenik I, 360.
 Rücken des Gebirges, f. Berg I, [774](#).
 Rückenmark, f. Sinne V, [904](#) f.
 Rückläufige Bewegung der Planeten, f. Planeten V, [320](#) (Anmerkung).
 Rückschlag, f. Elektricität II, [737](#) f., Gewitter III, [574](#) f.
 Rückstoß (Reaction) ausströmender Flüssigkeiten, f. Mechanik der Flüssigkeiten IV, [973](#) f.
 Rückwirkung (Reaction), f. Druck II, [559](#); Rückwirkung ausströmender Flüssigkeiten, f. Mechanik der Flüssigkeiten IV, [974](#).
 Rubean, f. Kohlenstoff IV, [320](#).

Ruhe, absolute und relative, s. Bewegung [I, 806](#), Druck II, [882](#) f.

Ruhe, scheinbare und wirkliche, s. Bewegung [I, 806](#).

Ruhewinkel, s. Reibung V, [629](#).

Ruthe, s. Maß IV, [903](#), [905](#) f.

Ruthenium V, [648](#).

Zacharometer, s. Aräometer [I, 278](#), Polarisation des Lichtes V, [436](#).

Sättigung eines gegebenen Raumes mit Dämpfen, s. Dampf II, [50](#).

Sättigung bei Lösungen, s. Auflösung [I, 868](#), Krystall IV, [354](#) f., Lösung IV, [647](#) ff.

Sättigung eines Magnets, s. Magnetismus IV, [749](#), Magnetolectricität IV, [848](#).

Sättigungscapazität einer Säure, s. Säure II V, [673](#).

Säuerlinge, s. Quelle V, [562](#).

Säule, galvanische (volta'sche) V, [648](#). Einfache Kette [648](#) f. Pore's Galvanomotor [649](#). Daniell'sche und Becquerel'sche Kette [649](#) f. Abänderung der Daniell'schen Kette durch Spencer [650](#). Grove'sche Kette [650](#) f. Gallan'sche Kette [651](#). Zink-Kohlenkette von Bunsen [651](#) f. Kette von Eisenlohr [652](#). Zusammengesetzte Ketten [653](#) ff. Volta'sche Säule [653](#). Bechervapparat [653](#). Wollaston'sche Säule [653](#) f. Einrichtung einer Säule nach Faraday [654](#). Zusammensetzung der einfachen constanten Ketten (von Daniell, Grove, Bunsen) zu Säulen [654](#) f. Gallan'sche Säule [655](#) f. Säulen von Eisenlohr und Vagratiön [656](#). Entwicklung von Schwefelwasserstoff in einer Säule aus Bunsen'schen Kohlenzylindern und Zink in Schwefelsäure [656](#). Galvanische Säule und galvanische Batterie [656](#) f. Verwendung des Eisens zu galvanischen Combinationen [657](#) f. Kette von Becassagne und Thiers [659](#). Galvanisches Element aus Aluminium und amalgamirtem Zink [659](#). Säulen, bei denen der positive Elektromotor aus Amalgam besteht [659](#). Spannung freier Electricität an den Polen einer galvanischen Säule [659](#) f. Gassiot's Säule [660](#). Galvanische Ketten aus zwei Flüssigkeiten und einem Metall [660](#). Galvanische Ketten aus einem Metall und einer Flüssigkeit [661](#). Zweielementige Säule von Zamboni [661](#). Grove'sche Gasäule [662](#) f. Ritter's Ladungssäulen (secundäre Säulen) [663](#). Nähere Untersuchung der Grove'schen Gasäule durch Boggendorff [663](#) ff. Zwei Arten

hydroelectrischer Ketten [666](#). Trochne oder Zambonische Säulen [666](#) ff. Elektrisches Perpetuum mobile [667](#). Princip der Wirksamkeit der Zambonischen Säule [669](#) f. — In Rücksicht der Stromstärke galvanischer Ketten und Säulen ist zu vergleichen Strom, elektrischer VI, [162](#) ff.

Säule gerade quadratische, s. Krystall IV, [376](#); — gerade rechteckige ebenda IV, [376](#).

Säuren V, [670](#). Relativer Begriff der Säuren und Basen [671](#). Sauer- und Wasserstoffsäuren [671](#). Einfaches oder zusammengesetztes Radical der Säuren [671](#). Verschiedenes Verhalten der Sauer- und Wasserstoffsäuren [671](#) f. Sättigungscapazität einer Säure [673](#). Einbasische, zweibasische, dreibasische Säuren [673](#) f. Gepaarte Säuren; Paarling [674](#) f. Davy's Ansicht über die Constitution der Säuren und Erweiterung derselben durch Dulong und Liebig [676](#) (s. auch Salze V, [678](#) f.).

Sahlbänder, s. Geologie III, [513](#).

Saite, Schwingungsgesetze derselben, s. Ton VI, [379](#) ff.

Saiteninstrumente, s. Ton VI, [428](#).

Salmiak, s. Ammoniak [I, 147](#).

Salmiakgeist, s. Ammoniak II, [147](#).

Salpeter, s. Natrium V, [14](#), Kalium IV, [204](#).

Salpeterhaltige Quellen, s. Quelle V, [563](#).

Salpetersäure, s. Stickstoff VI, [126](#).

Salpetersäure, s. Chlor [I, 962](#), Stickstoff VI, [130](#).

Salpetersäure Magnesia, s. Magnium IV, [868](#).

Salpetersäurer Kalk, s. Calcium [I, 923](#).

Salpetersäurer Strontian, s. Strontium VI, [201](#).

Salpetersaures Ammoniak, s. Ammoniak [I, 148](#).

Salpetersaures Antimonoxyd, s. Antimon [I, 233](#).

Salpetersaures Kali, s. Kalium IV, [204](#).

Salpetersaures Kupferoxyd, s. Kupfer IV, [396](#); Salze V, [686](#).

Salpetersaures Natron, s. Natrium V, [14](#).

Salpetersaures Nickeloxyd, s. Nickel V, [70](#).

Salpetersaures Quecksilberoxyd, s. Quecksilber V, [537](#).

Salpetersaures Quecksilberoxydul, s. Quecksilber V, [536](#).

Salpetersaures Silberoxyd, s. Silber V, [886](#).

Salpetersaures Wismuthoxyd, s. Wismuth VI, [1003](#).

Salpetersaures Zinkoxyd, s. Zink VI, [1090](#).

Salpetersaures Zinnorydul, f. Zinn VI, 1098.

Salpeterstoff, f. Stickstoff VI, 118.

Salpetrige Säure, f. Stickstoff VI, 121, 123 f.

Salien (Schlammvulkane), f. Vulkan VI, 612 f.

Salzbasen, f. Basen I, 747, Salze V, 677 ff.

Salze V, 676. Geschichtliches 676 f. Haloid- und Amphidsalze 677 f. Binärtheorie der Salze 678. Neutrale, saure, basische, doppelte und dreifache Haloidsalze 679 f. Amphidsalze 680 f. Doppelsalze 681. Schwefelsalze 682 f. Vortheile der von Davy aufgestellten Binärtheorie der Salze 683 f. Bedenken dagegen 684. Verschiedene Gruppen von Sauerstoffsalzen 685. Krystallwasser der Salze 685 f. Constitutionswasser 686. Detonation gewisser wasserfreier Salze 687. Löslichkeit der Salze 687 f. Siedepunkte verschiedener Salzlösungen 688. Einwirkung der Säuren auf Salze 688 f. Einwirkung von Basen auf Salze 689. Zersetzung der Salze auf trockenem und nassem Wege 689 f. Einfluß der Temperatur im letzteren Falle 690. Literatur 690 f.

Salzgehalt des Meeres, f. Meer IV, 989 ff.

Salzgeist, f. Chlor I, 961.

Salzlösungen, f. Lösung (im Neg.).

Salzquellen, f. Quelle V, 562, Natrium V, 18 f.

Salzsäure, f. Chlor I, 960.

Salzsaures Gas, f. Chlor I, 960.

Salzsoole, f. Quelle V, 562, Natrium V, 18 f.

Salzvinde, f. Aräometer I, 354.

Salzwage, f. Aräometer I, 354.

Samiel, f. Winde VI, 988.

Sammellinsen, Sammelgläser, f. Brennglas I, 906, Linsenglas IV, 546; Sammellinse, beim Mikroskop, f. Mikroskop IV, 1036.

Sammelungsgläser, f. Sammellinsen.

Samum, f. Winde VI, 988.

Sandarac, f. Harze III, 701.

Sandbad, f. Trocknen VI, 445.

Sandbänke, f. Meer IV, 989.

Sandhose (Sand-Wetterssäule), f. Wasserhose VI, 792, 802.

Saphir, f. Edelsteine II, 594 f.

Sargasso-See, f. Meer IV, 1001.

Satelliten (Trabanten, Monde, Nebenplaneten), f. Planeten V, 320.

Saturn, f. Planeten V, 335.

Sauerbrunnen, f. Quelle V, 562.

Sauerklee Salz, f. Kalium IV, 208.

Sauerstoff V, 691. Darstellung 692 ff. Haupteigenschaft des Sauerstoffes 693. Große Verwandtschaft desselben zu den übrigen Elementen 693. Wichtigkeit des Sauerstoffes für das Leben der Thiere und Pflanzen 696.

Sauerstoffgas, f. Sauerstoff V, 691.

Sauerstoffgebläse, f. Gebläse III, 501.

Sauerstoffsäuren, f. Säuren V, 671.

Sauerstoff-Wasserstoffgebläse, f. Gebläse III, 501.

Saugpumpe, f. Pumpe V, 490 ff.

Saugröhre, f. Pumpe V, 490 ff.

Saugschwungmaschine, f. Pumpe V, 506 f.

Saugventilator, f. Ventilator VI, 469.

Saure Salze, f. Salze V, 679, 680 f.

Saures antimonisaures Kali, f. Antimon I, 236.

Saures oralsaures Kali, f. Kalium IV, 208.

Saures schwefelsaures Kali, f. Kalium IV, 208.

Saures weinsteinsaures Kali, f. Kalium IV, 207.

Saures zuckersaures Kali, f. Kalium IV, 208.

Scale an Barometern, f. Barometer I, 663 ff.

Scale an Thermometern, f. Thermometer IV, 295 ff. Theilung der Thermometer: scalen VI, 308.

Scalenaräometer, f. Aräometer I, 279, 289 ff.

Schädlicher Raum der Luftpumpe, f. Luftpumpe IV, 717.

Schädlicher Raum der Wasserpumpe, f. Pumpe V, 491.

Schäfschen, f. Wolken VI, 1019.

Schafhäutchen, f. Luftball IV, 676.

Schafloch, f. Höhlen III, 841.

Schalen an der Wage, f. Wage VI, 770.

Schall V, 697. Geräusch, Ton, Klang 697. Die Ursache des Schalles ist eine schwingende Bewegung der Körpertheilchen 697 f. Fortschreitende und stehende Schwingungen 698. Das Selbsttönen der Körper beruht auf stehenden Schwingungen 698 f. Die atmosphärische Luft ist das gewöhnliche Medium der Schallfortpflanzung 699. Geschwindigkeit des Schalles 699. Ältere Bestimmungen der Schallgeschwindigkeit 699 f. Versuche auf Veranlassung der Pariser Academie 700. Andere weitige Versuche über Schallgeschwindigkeit 701 f. Theoretische Bestimmung der Schallgeschwindigkeit durch Newton 702 f. Differenz zwischen Theorie und Erfahrung, erklärt durch Laplace 703 f. Fortpflanzung des Schalles in verschiedenen Gasen

704. Berechnung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in festen und tropfbaren Körpern 705 ff. Versuche von Colladon und Sturm über die Geschwindigkeit des Schalles im Wasser auf dem Genfersee 706. Chladni's Methode zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Schalles in festen Körpern 707 f. Geschwindigkeit des Schalles in verschiedenen festen Körpern 708 f. — In Rücksicht der Schallgeschwindigkeit ist zu vergleichen Art. Wellenbewegung VI, 933 — 937. — Intensität oder Stärke des Schalles V, 709 f. (s. auch Wellenbewegung VI, 920 f.). — Vergl. Wellenbewegung VI, 873 ff., Ton VI, 379, Interferenz IV, 101. Inflexion IV, 36.
- Schaltjahr, s. Jahr IV, 2 ff.
- Schatten V, 710. Entstehung des Schattens 710 ff. Kernschatten und Halbschatten 712. Gebrauch des Schattens zur Zeichnung der Umrisse eines Körpers, namentlich menschlicher Profile 712. Ginschattige, Umschattige, Unschattige, Zweischattige 713. Benutzung des Schattens zur Bestimmung der Sonnenhöhe 713. Gerader Schatten und umgekehrter Schatten 713 f. Messung eines hohen Gegenstandes mit Hilfe seines Schattens 714.
- Schatten, farbige, s. Farbe III, 52 ff.
- Schaukeln, s. Wasserrad VI, 802 ff., Mechanik der Flüssigkeiten IV, 960 ff.
- Schaukelräder an Dampfschiffen, s. Schiff V, 724 ff.
- Schaum, s. Luftblasen IV, 684.
- Scheel (Scheelium) s. Wolfram VI, 1008.
- Scheelbleierz, s. Wolfram VI, 1008.
- Scheelbleispath, s. Wolfram VI, 1008.
- Scheelerz, s. Wolfram VI, 1008.
- Scheeletin, s. Wolfram VI, 1008.
- Scheelsäure, s. Wolfram VI, 1008 f.
- Scheere an der Wage, s. Wage VI, 770.
- Scheeren, s. Meer IV, 989.
- Scheffel, s. Maß IV, 903, 905 f.
- Scheibe, stroboskopische, s. Stroboskopische Scheiben IV, 147.
- Scheibenmaschine, s. Elektrifizirmaschine II, 769.
- Scheibenventil, s. Pumpe V, 302.
- Scheidkunst, s. Chemie I, 941.
- Scheidwasser, s. Stickstoff VI, 126.
- Scheinbare Bewegung der Planeten, s. Planeten V, 320 ff.
- Scheitel V, 714. Zenith, Nadir 714. Höhe eines Gestirnes; Zenithdistanz 715.
- Scheinbare Größe eines Gegenstandes, s. Sehen V, 830.
- Scheiteltreife, s. Scheitel V, 714.
- Schritelpunkte der Ellipse, s. Planeten V, 337.
- Schellack, s. Harze III, 703.
- Scherbenkobaal, s. Arsenik I, 358.
- Schichtwolke, s. Wolken VI, 1019.
- Schiebelampe, s. Lampe IV, 409.
- Schieber, s. Dampfmaschine II, 349 ff., 370; Locomotive IV, 607 ff.
- Schiebersteuerung, s. Dampfmaschine II, 352.
- Schiefe der Ekliptik V, 715. Bestimmung derselben mittelst der Aequatorhöhe 715. Bestimmung aus der Beobachtung der Sonnenhöhe zur Zeit der beiden Sonnenwenden eines Jahres 715. Anderweitige Bestimmung 716. Veränderung in der Schiefe der Ekliptik 716. Formel für die Schiefe der Ekliptik 716. Grenzen für die Veränderung in der Schiefe der Ekliptik 717. — Nachtgleichen V, 4.
- Schiefe Ebene, s. Ebene II, 585 ff.
- Schiefe Thürme, s. Statik VI, 84 (in der Anmerkung).
- Schieferthron, s. Berg I, 785.
- Schiefehen, s. Sinne V, 938.
- Schielen, s. Sinne V, 913, 938.
- Schienen, s. Eisenbahn II, 639 ff.
- Schienenstoß, s. Eisenbahn II, 653.
- Schießbaumwolle, s. Stickstoff VI, 130.
- Schießpulver, entzündet durch die Wärmewirkung des elektrischen Stromes, s. Galvanismus III, 320; Magneto-electricität IV, 844 f.
- Schiff V, 717. Verschiedene Arten von Schiffen 717. Bedingung des Schwimmens eines Körpers 717 ff. Stabiles Schwimmen eines Schiffes 718. Günstige Stellung der Segel bei einem Segelschiffe 719 f. Dampfschiffe 720 ff. Geschichtliches 720 f. Wahl des Kessels 721 f. Maschine 722 ff. Systeme in Betreff des Bewegungsmechanismus der Dampfschiffe 724. a) Naddampfer 724 ff. b) Schraubendampfer 729 ff. c) Reaktionsdampfer 733 f.
- Schiffsbarometer, s. Barometer I, 673, 696 f.
- Schiffsdampfessel, s. Schiff V, 724 f. — Dampfmaschinen II, 323 ff., Locomotive IV, 585 ff., 592.
- Schiffscompaß, s. Declinatorium II, 462.
- Schiffslast, s. Maß IV, 903.
- Schiffsschraube, s. Schiff V, 729.
- Schiffswage, schwedische, s. Wage VI, 783.
- Schiffswinde, s. Rad an der Welle V, 573.
- Schild (Deckel) des Elektrophor, s. Elektrophor II, 845.
- Schlacken, s. Schmelzen V, 738.

Schlag, elektrischer, s. Flasche, elektrische III, [252](#) f. Wirkungen desselben III, [262](#) — [273](#). Vergl. Funke, elektrischer III, [291](#), [296](#), [297](#) f. — Auslader I, [641](#) f. — Elektrifizirmaschine II, [780](#).

Schlag, elektrischer (im physiologischen Sinne), s. Flasche, elektrische III, [274](#), Galvanismus III, [361](#) f.

Schlagweite, elektrische, s. Flasche elektrische III, [283](#) f.

Schlagwinkel, s. Fliegen III, [280](#).

Schlamm der Flüsse, s. Ströme VI, [162](#).

Schlammten V, [734](#).

Schlammvulkane, s. Vulkan VI, [612](#) f.

Schleimharze, s. Harze III, [704](#).

Schlempe, s. Weingeist VI, [832](#).

Schließungsbogen, Schließungsdraht, s. Galvanismus III, [347](#).

Schließungszuckung (bei Einwirkung des elektrischen Stromes auf den menschlichen Körper), s. Galvanismus III, [362](#), [Thierische Elektrizität VI, 353](#).

Schlippe'sches Salz, s. Antimon I, [239](#).

Schloßen, s. Hagel III, [676](#).

Schmelzen V, [733](#). Schmelzpunkte verschiedener Körper [733](#) f. Einfluß des kristallisirten oder amorphen Zustandes auf den Schmelzpunkt [736](#). Weichwerden mancher Körper vor dem Schmelzen [736](#). Hall's Versuch [736](#). Volumveränderung beim Schmelzen [736](#). Mischungen verschiedener Metalle schmelzen leichter als die einzelnen Metalle [736](#) f. Schmelzpunkte verschiedener Legirungen [737](#). Wärmeentziehung durch schmelzende Körper [737](#). Schmelzpunkt organischer Verbindungen [737](#) f. Gebrauch des Schmelzens (bei chemischen Operationen) zur Werkstellung von Mischungen und Scheidungen [738](#). Vorrichtungen zum Schmelzen [738](#) ff. Bergelius'sche Lampe; Schmelzöfen oder Gebläseöfen [739](#). Sefström'sche Öfen [740](#) f. Glammöfen [741](#). Lampen und Öfen von Deville [741](#) ff. Leistungen des Deville'schen Ofens [744](#). — Vergl. Wärme VI, [700](#) ff.

Schmelzstahl, s. Eisen II, [626](#).

Schmiedeeisen, s. Eisen II, [623](#).

Schmierbüchse bei Locomotiven, s. Locomotive IV, [601](#).

Schnecke, archimedische, s. Wasserschnecke VI, [813](#).

Schneckenrad, s. Chronometer I, [972](#).

Schnee V, [744](#). Entstehung [744](#) ff. Schneien bei höherer Temperatur; Nichtschmelzen des auf der Erde liegenden Schnees bei hellem, trockenem Wetter [745](#). Drehung des Windes beim Schneien [745](#) f. Schneestürme [747](#). Staubschnee [746](#). Menge des fallenden Schnees [747](#). Lauminen [747](#) f. Wassermenge, welche der Schnee giebt [748](#). Farbe des Schnees [748](#) f. Gestalt der Schneeflocken [749](#) f.

Schneebblindheit, s. Sinne V, [938](#).

Schneefälle, bedeutende, s. Schnee V, [747](#).

Schneegrenze V, [750](#). Grenze des ewigen Schnees; Schneelinie [750](#). Abhängigkeit der Schneelinie von der mittleren Jahresstemperatur, der Intensität und Dauer der Sommerwärme und der Menge des im Winter fallenden Schnees [751](#). Mittlere Temperatur der Schneegrenze [751](#). Einfluß der Configuration, der Beschaffenheit des Bodens [751](#) auf die Höhe der Schneelinie [751](#). Veränderlichkeit der Schneelinie mit den Jahreszeiten [751](#). Mittlere Schneegrenze [751](#) f. Schneegrenze auf der nördlichen und südlichen Abdachung des Himalaya [752](#). Höhe der Schneegrenze an verschiedenen Orten der Erde [752](#).

Schneeflocken, s. Schnee V, [749](#) f.

Schneelinie, s. Schneegrenze V, [750](#).

Schneestürme, s. Schnee V, [746](#).

Schneewasser, s. Schnee V, [748](#).

Schnelligkeit, s. Geschwindigkeit (im Reg.).

Schnellkraft, s. Elasticität II, [682](#).

Schnellloth, s. Löthen IV, [363](#).

Schnellwage, s. Wage VI, [781](#).

Schöngucker, s. Kaleidoskop IV, [183](#).

Schoppen, s. Maß IV, [906](#).

Schornstein, s. Feuer III, [143](#). Heizung III, [746](#).

Schräge Destillation, s. Destillation II, [470](#).

Schraube V, [753](#). Einrichtung der Schraube [753](#) f. Verhältniß zwischen Kraft und Last an der Schraube [754](#). Gebrauch der Schraube [753](#) f. — Vergl. Presse V, [472](#) ff.

Schraube, elektrodynamische, s. Elektromagnetismus II, [783](#) f.

Schraube ohne Ende, s. Schraube V, [756](#).

Schraubendampfer, s. Schiff V, [729](#).

Schraubengang, Höhe desselben, s. Schraube V, [753](#).

Schraubenlinie, s. Schraube V, [753](#).

Schraubenmikrometer, s. Mikrometer IV, [1033](#), Mikroskop IV, [1062](#).

Schraubenmutter, s. Schraube V, [753](#).

Schraubenspindel, s. Schraube V, [753](#).

Schrittdauer, Schrittlänge beim Gehen des Menschen, s. Gehen III, [503](#).

Schwache Winde, s. Winde VI, [967](#).

Schwaden, feuriger, s. Kohlenstoff IV, [310](#).

Schwankung, negative des Muskelstromes, s. Thierische Elektrizität VI, [351](#).

Schwankungen des Barometers, s. Barometerstand (im Register).

Schwankungen der Luftelektricität, f. Luft-
elektricität IV, [689](#) ff.
Schwankungen des Mondes, f. Mond IV,
[1109](#).
Schwanzsterne, f. Kometen IV, [323](#).
Schwarzgebranntes Elfenbein, f. Kohlen-
stoff IV, [293](#).
Schwarzkohlen, f. Heizung III, [729](#), [733](#).
Schweben der Töne, f. Interferenz IV,
[104](#).
Schwedische Wage, f. Wage IV, [783](#).
Schwefel V, 786. Vorkommen [786](#) f.
Eigenschaften [787](#) f. Krystallgestalt des
Schwefels [788](#). Verschiedene Modifica-
tionen des Schwefels [788](#) f. Reinigung
des Schwefels [760](#). Schwefelblumen [761](#).
Schwefelmilch [761](#). Schwefeleinfuhr [762](#)
f. Verbindungen des Schwefels mit Sauer-
stoff [763](#) ff. Unterschweflige oder dithionige
Säure [763](#) f. Schweflige oder monos-
thionige Säure [764](#) f. Verwendung der
schwefligen Säure in der Technik [766](#) f.
Schwefelsäure [768](#) ff. Fabrikation der
Schwefelsäure [770](#) ff. Wasserfreie Schwefel-
säure [773](#). Verbindungen der Schwefel-
säure mit Wasser [776](#). Anziehung von
Wasser durch concentrirte Schwefelsäure
[777](#). Die Schwefelsäure des Handels [777](#)
f. Bereitung ganz reiner Schwefelsäure
[780](#). Chemischer Charakter der Schwefel-
säure [781](#). Unterschwefelsäure (Dithion-
säure); Schwefelunterschwefelsäure (Tri-
thionsäure); zweifach geschwefelte Unter-
schwefelsäure (Tetrathionsäure); dreifach
geschwefelte Unterschwefelsäure (Panta-
thionsäure) [782](#). Wasserstoffschwefel (hy-
drothionige Säure); Schwefelwasserstoff
(Hydrothionsäure) [783](#). Vorkommen des
Schwefelwasserstoffes [783](#) ff. Directe Ver-
bindung von Schwefeldampf und Wasser-
stoffgas [786](#). Kipp's Apparat zur Ent-
wicklung von Schwefelwasserstoffgas [787](#) f.
Mohr's Apparat zur Erzeugung eines ge-
sättigten Schwefelwasserstoffwassers [788](#).
Verbindung des Schwefels mit Metallen
[789](#). Erkennung der Gegenwart selbst
sehr geringer Mengen von Schwefel [790](#).
Reagentien auf verschiedene schwefelsaure
Salze [790](#). Reagentien auf Schwefel-
wasserstoff und Schwefelkohlenstoff [791](#) f.
Schwefeläther, f. Aether I, [122](#).
Schwefelätherhygrometer, f. Hygrometer
III, [890](#).
Schwefelalkohol, f. Kohlenstoff IV, [320](#).
Schwefelantimon, f. Antimon I, [237](#) f.
Schwefelantimonkalium, f. Antimon I,
[238](#).
Schwefelarsenik, f. Arsenik I, [360](#).
Schwefelbaryum, f. Baryum I, [743](#).

Schwefelbasen, f. Basen I, [747](#).
Schwefelblausäure, f. Kohlenstoff IV, [320](#)
(Anmerkung).
Schwefelblei, f. Blei I, [834](#) f.
Schwefelcadmium, f. Cadmium I, [918](#).
Schwefelcalcium, f. Calcium I, [921](#).
Schwefelcyanalium, f. Kalium IV, [210](#).
Schwefelhöhlen (Schwefelgrotten), f. Höh-
len III, [836](#), [847](#).
Schwefeleisen, f. Eisen II, [620](#).
Schwefelhölzchen, f. Feuerzeug III, [182](#),
[191](#).
Schwefelkalium, f. Kalium IV, [208](#) f.
Schwefelkies, f. Eisen II, [621](#), Schwefel
V, [761](#).
Schwefelkohlenstoff, f. Kohlenstoff IV,
[320](#).
Schwefelkupfer, f. Kupfer IV, [398](#) f.
Schwefelleber, f. Kalium IV, [209](#).
Schwefelmangan, f. Mangan IV, [878](#).
Schwefelmetalle, f. Schwefel V, [789](#).
Schwefelmilch, f. Schwefel V, [761](#).
Schwefelnatrium, f. Natrium V, [21](#).
Schwefelnickel, f. Nickel V, [66](#).
Schwefelphosphor, f. Phosphor V, [230](#).
Schwefelquecksilber, f. Quecksilber V,
[340](#) f.
Schwefelquellen (Schwefelwasser), f. Quelle
V, [363](#), Schwefel V, [783](#) f.
Schwefelregen, f. Regen V, [611](#), [612](#).
Schwefelsäure, f. Schwefel V, [768](#)—[782](#).
Schwefelsaurer Baryt, f. Baryum I, [744](#),
Schwerspath V, [816](#).
Schwefelsaure Magnesia, f. Magnium IV,
[867](#).
Schwefelsaurer Kalk, f. Calcium I, [922](#).
Schwefelsaures Ammoniak, f. Ammoniak
I, [148](#) f.
Schwefelsaures Cadmiumoxyd, f. Cadmium
I, [918](#).
Schwefelsaures Eisenoxydul, f. Eisen II,
[618](#).
Schwefelsaures Kali, f. Kalium IV, [203](#).
Schwefelsaures Kobaltoxyd leuchtet beim
Krystallisiren, f. Elektricität II, [755](#).
Schwefelsaures Kupferoxyd, f. Kupfer IV,
[394](#).
Schwefelsaures Manganoxydul, f. Mangan
IV, [871](#).
Schwefelsaures Natron, f. Natrium V, [14](#).
Schwefelsaures Nickeloxydul, f. Nickel V, [69](#).
Schwefelsaures Quecksilberoxydul, f. Queck-
silber V, [336](#).
Schwefelsaures Silberoxyd, f. Silber V,
[887](#).
Schwefelsaures Uranoxyd, f. Uran VI, [439](#).
Schwefelsaures Uranoxyd-Kali, f. Uran VI,
[439](#).
Schwefelsaures Zinkoxyd, f. Zink VI, [1089](#).

Schwefelsaures Zinnorydul, f. Zinn VI, **1098**.
 Schwefelsilber, f. Silber V, **888**.
 Schwefeltantal, f. Tantal VI, **212**.
 Schwefelyttrium, f. Yttrium VI, **1039**.
 Schwefelwasser, f. Quelle V, **563**, Schwefel V, **783** f.
 Schwefelwasserstoff, f. Schwefel V, **783**.
 Schwefelwasserstoffsäure, f. Schwefel V, **783**.
 Schwefelzink, f. Zink VI, **1090**.
 Schwefelzinn, f. Zinn VI, **1101**.
 Schwefelzirkonium, f. Zirkonium VI, **1108**.
 Schwerflige Säure, f. Schwefel V, **764** ff.
 Schweif der Kometen, f. Kometen IV, **323** f.
 Schweifstern, f. Kometen IV, **323**.
 Schweinfurter Grün, f. Essigsäure II, **933**.
 Schweißen, f. Eisen II, **617**.
 Schwellen der Ströme, f. Ströme VI, **159** f., **161**.
 Schwere V, **792**. Begriffsbestimmung **792**. Beschleunigung (Acceleration) **792** f. Gleicher Werth der Beschleunigung für alle Körper an einem und demselben Orte der Erde **792** f. Veränderung des Werthes der Beschleunigung in der Richtung vom Aequator nach den Polen oder im umgekehrten Sinne **793**. Verminderung der Intensität der Schwere durch die Centrifugalkraft **794** f. Gesamtverminderung der Schwere vom Pol bis zum Aequator **795**. Richtung der Schwere **795** f. Gewicht eines Körpers **796**. Allgemeine Schwere oder Gravitation **797**. Planetenbewegung (Kepler'sche Gesetze) **797** f. Die an der Erdoberfläche wirksame Schwere ist auch die Ursache, welche den Mond in seiner Bewegung um die Erde erhält **798**, **799**. Newton'sches Gravitationsgesetz **799**. Anziehungsgesetze **800** f. Formel für die Anziehung zweier gegeneinander gravitirender Körper **801**. Beschleunigende Kraft eines Planeten **802**. Bestimmung der Masse eines Planeten im Verhältniß zur Masse der Sonne **803**. Verhältniß der Masse der Erde zur Masse der Sonne **803** f. Intensität der Schwere an der Oberfläche der Sonne **804**. Reduction der Schwere auf die Meeresfläche **805** f. Die Schwere als constante Kraft **806**. Geschichtliches **806** f.
 Schwere der Luft, f. Atmosphäre I, **464** ff.
 Schweremesser, f. Barometer I, **654**.
 Schwere Metalle, f. Metalle IV, **1027**.
 Schwererde, f. Baryum I, **744** f.
 Schwerpunkt V, **807**. Begriffsbestimmung

807. Bestimmung der Lage des Schwerpunktes nach der Theorie der parallelen Kräfte **807** f. Unabhängigkeit des Schwerpunktes von der Intensität der Schwere **808**. Bestimmung des Schwerpunktes von krummen Linien **808** f. Schwerpunkt eines Kreisbogens und eines cycloidischen Bogens **809**. Schwerpunkt einer gegebenen geraden Linie **809**. Allgemeiner Ausdruck zur Bestimmung der Schwerpunkte von Oberflächen **809** f. Schwerpunkt eines Dreiecks **810** f. Schwerpunkt eines Vierecks, Parallelogramms, des Kreises und der Ellipse **811**. Schwerpunkt eines Kreisabschnittes **811** f. Schwerpunkt eines Kreisabschnittes **812**. Schwerpunkt einer zwischen zwei parallelen Sehnen eingeschlossenen Fläche **812**. Volumen eines Rotationskörpers; Inhalt einer Rotationsfläche. Sogenannte Guldin'sche Regel **813**. Schwerpunkte der Volumina und Körper **814** ff. Schwerpunkt einer dreiseitigen Pyramide **814**, eines Kegels **815**. Schwerpunkt eines Kugelausschnittes und Kugelabschnittes **815**. Schwerpunkt einer abgekürzten dreiseitigen Pyramide und eines abgekürzten Kegels; Schwerpunkt eines Kenoïds **816**.
 Schwerspath V, **816**. Geschichtliches **816**. Eigenschaften **817**. Verwendung des Schwerspathes **817** f.
 Schwimmarc, f. Statik VI, **96**.
 Schwimmblase, f. Statik VI, **98**.
 Schwimmbene, f. Statik VI, **96**.
 Schwimmen, f. Statik VI, **94** ff.
 Schwimmen des Menschen, f. Statik VI, **98** f.
 Schwimmen der Fische, f. Statik VI, **98**.
 Schwimmen leichterer Flüssigkeiten auf schwereren, f. Statik VI, **100**.
 Schwimmende Inseln, f. Sumpfe VI, **204** f.
 Schwimmer in Barometern, f. Barometer I, **699**; bei Dampfmaschinen, f. Dampfmaschine II, **337**, **339** f. — Prony's Schwimmer; f. Springbrunnen VI, **68**. — Schwimmer zur Messung der Geschwindigkeit des Fließens, f. Ströme VI, **155**.
 Schwimmgürtel, Schwimmkleider, f. Statik VI, **98**.
 Schwimmstäbe, f. Ströme VI, **155**.
 Schwimmwage, f. Kräometer I, **278**.
 Schwinden der Flüsse, f. Ströme VI, **161**.
 Schwingungen des Pendels, f. Pendel V, **161** ff.
 Schwingungen, fortschreitende und stehende, f. Wellenbewegung VI, **873** ff., **875** ff., **893** f.
 Schwingungen, longitudinale, transversale und drehende (rotatorische), f. Wellen-

- bewegung VI, 879. Transversale Schwingungen einer Saite insbesondere, f. Ton VI, 379 ff., Wellenbewegung VI, 875 ff. Longitudinale Schwingungen einer Saite 899, Ton, VI, 404. Beziehung zwischen den durch Längen- und Querschwingungen derselben Saite hervorgebrachten Tönen, f. Wellenbewegung VI, 899 f.
- Schwingungen elastischer Platten oder Scheiben, f. Wellenbewegung VI, 900 ff.
- Schwingungen elastischer Stäbe, f. Wellenbewegung VI, 909 ff., Ton VI, 404 f.
- Schwingungen (longitudinale) in Glasröhren, f. Wellenbewegung VI, 912 ff.
- Schwingungen (drehende) in Stäben, f. Wellenbewegung VI, 917, Ton VI, 405.
- Schwingungen der Glocke, f. Ton VI, 407.
- Schwingungen der Stimmgabel, f. Wellenbewegung VI, 912, Ton VI, 406.
- Schwingungen gasförmiger Medien, f. Wellenbewegung VI, 917 ff. Tönende Schwingungen der Luft in Röhren (Pfeifen), f. Wellenbewegung VI, 926 bis 933, Ton VI, 409 f.
- Schwingungen in tropfbaren Flüssigkeiten, f. Wellenbewegung VI, 933 ff., Ton VI, 408 f.
- Schwingungsebene des polaris. Lichtes, f. V, 407 ff.
- Schwingungsknoten, f. Wellenbewegung VI, 877, 899, 900 f. 909 f., 912 ff., Ton VI, 393; Monochord IV, 1120 f.
- Schwingungsmittelpunkt, f. Pendel V, 168.
- Schwingungszahl, welche einem gewissen Tone entspricht, f. Ton VI, 379 ff. Ermittlung derselben, f. Ton VI, 397 f., 400 ff.
- Schwungfeten, f. Fliegen III, 279.
- Schwungkraft, f. Bewegung I, 826. Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte VI, 1119 ff.; — Schwere V, 794. — Schwungmaschine V, 819.
- Schwungflügelregulator, siehe Dampfmaschine II, 357.
- Schwungmaschine V, 819. Vorrichtung von Desaguliers, verbessert von Nearne 819. Versuche mittelst dieser Maschine 819 f. Veranschaulichung der durch die Schwungkraft bewirkten Abplattung der Erde 820. Centrifugal-Trockenmaschine 821.
- Schwungrad, f. Dampfmaschine II, 367 ff. (349 f.); vergl. Maschine IV, 888 f.
- Scylla und Charybdis, f. Meer IV, 1007.
- Secundäre Säulen, f. Säule, galvanische V, 663.
- Secundäre Ströme, f. Induction, elektrische IV, 9.
- Secundenpendel, f. Pendel V, 161; Länge desselben in verschiedenen geogr. Breiten V, 183, Schwere V, 793, Bewegung I, 829.
- Sedliger Salz, f. Magnium IV, 867.
- See, die, f. Meer IV, 979.
- Seerbarometer, f. Barometer I, 696 f.
- Seecompaß, f. Declinatorium II, 462.
- Seegesicht, f. Luftspiegelungen IV, 736.
- Seen, V, 821. Begriffsbestimmung, Vorkommen 821. Größe der Seen in den Vereinigten Staaten Nordamerikas 822. Oberfläche des Kaspiischen Sees 822. Seen mit sichtbaren Zu- und Abfluß 822. Vinsennseen 822. Seen mit einem Abfluß, aber ohne sichtbaren Zufluß 823. Seen ohne sichtbaren Zufluß und ohne sichtbaren Abfluß 823. Ginzkniger See 823. Tiefe der Seen 823 f. Klarheit und Farbe des Seewassers 824. Todtes Meer 825. Erheben und Sinken des Wasserspiegels der Seen 826.
- Seethiere, leuchtende, f. Meer IV, 997 ff.
- Seewasser, f. Meer IV, 989 ff., Seen V, 824 ff.
- Seewinde, f. Winde VI, 967 f.
- Segelschiff, f. Schiff V, 719.
- Segner's Rad, f. Wasserrad VI, 804.
- Sehen V, 827. Vermittelung des Sehens durch das Licht 827. Bild des Gegenstandes auf der Netzhaut 828. Aufrechtsehen 829 (f. auch Sinne V, 931). Größe und Entfernung der Gegenstände 829 f. (f. auch Sinne V, 927, 933). Scheinbare Größe eines Gegenstandes 830. Gesichtswinkel, Schwinke, optischer Winkel 831. Schweite oder Weite des deutlichen Sehens 832. Einrichtungs-, Adoptions- oder Accommodationsvermögen 832 f. Ginzsehen mit beiden Augen 834 (f. auch Sinne V, 931 f.). Identische Netzhautstellen (f. Sinne V, 923 f.). Doppeltsehen, Diplometet 835 f. Horopter 836 f. (f. auch Sinne V, 926). Versuch von Smith 839 f. Dauer des Lichteindrucks auf der Netzhaut 840 ff. Abblinden der Farben 843 ff. Erscheinungen, die sich aus der Dauer des Lichteindrucks erklären 847 ff. Thaumatrov 848. Stroboskopische Scheiben (Phantasskov, Phantasmaskov) 848 (f. Art. Stroboskopische Scheiben VI, 147). Anarthoskop 841 (f. Anarthoskop I, 231). Curvenerscheinungen, unter gewissen Umständen durch die Verweilung des Lichteindrucks auf der Netzhaut hervorgerufen 850 f. — Vergl. über das Sehen weiter Art. Sinne V, 912—947.
- Schlinie, f. Sinne V, 921.
- Schloß, f. Sinne V, 914.
- Schweite, f. Sehen V, 832.

Schwinkel, f. Sehen V, [831](#).
 Seife, f. Verseifung VI, [813](#) ff.
 Seifenfiederlauge, f. Verseifung VI, [818](#).
 Seihen, f. Filtriren III, [199](#).
 Seile (Stricke), Festigkeit derselben, f. Festigkeit III, [126](#).
 Seilmaschine V, [852](#). Vera'sche Seilmaschine [852](#). Andere Art von Seilmaschine [852](#) f. Kettenlinie [853](#).
 Seitendruck bewegter Flüssigkeiten (in Röhren), f. Röhrenleitungen V, [640](#) f.
 Selbstwirkende schiefe Ebene, f. Ebene II, [590](#), Eisenbahn II, [667](#).
 Selen V, [853](#). Vorkommen und Darstellung [853](#) ff. Allotroprische Zustände des Selen [856](#). Verbindungen mit dem Sauerstoff [857](#) f. Verbindungen mit Wasserstoff, Kohlenstoff und Cyan [858](#) f.
 Selenblei, f. Selen V, [854](#).
 Selenchlorid, f. Selen V, [858](#).
 Selenchlorür, f. Selen V, [858](#).
 Selenige Säure, f. Selen V, [857](#).
 Selenkobalt, f. Selen V, [854](#).
 Selenkupferblei, f. Selen V, [854](#).
 Selenoxyd, f. Selen V, [857](#).
 Selenpalladium, f. Selen V, [854](#).
 Selenquicksilber, f. Selen V, [854](#).
 Selenensäure, f. Selen V, [857](#).
 Selen Schwefel, f. Selen V, [858](#).
 Selen Silber, f. Selen V, [854](#).
 Selenwasserstoff, f. Selen V, [858](#).
 Senguerd'scher Hahn, f. Luftpumpe IV, [716](#).
 Senkel, f. Pendel V, [160](#).
 Senkblei, f. Bathometer I, [748](#).
 Senkrecht, f. Schwere V, [793](#).
 Senkrechte Himmelskugel, f. Himmel III, [796](#).
 Senkwaage, f. Aräometer I, [278](#).
 Serpentin, f. Berg I, [784](#).
 Seragesimal=Secundenpendel, f. Pendel V, [164](#).
 Sextant, f. Quadrant V, [528](#), [530](#).
 Sextant, Hadley's, f. Spiegel= Sextant VI, [54](#).
 Sertilschein, f. Aspecten I, [363](#).
 Sicherheit Lampe V, [859](#). Sicherheitslampe Davy's [859](#) f. Verbesserung derselben [860](#).
 Sicherheitspanzer Aldini's, f. Flamme III, [241](#).
 Sicherheitsrollen, f. Eisenbahn II, [660](#).
 Sicherheitsventil, f. Dampfmaschine II, [341](#), Locomotive IV, [605](#).
 Siderischer Monat, f. Monat IV, [1103](#).
 Siderischer Umlauf (siderische Revolution), f. Planeten V, [327](#).

Siderisches Sonnenjahr, f. Jahr IV, [2](#), Erde II, [906](#).
 Sideroskop V, [861](#).
 Sieden (kochen) V, [861](#). Siedepunkt des Wassers in verschiedenen Höhen [862](#). Sieden bei vermindertem Luftdruck [863](#) f. Kochen bei gesteigertem Druck auf die Flüssigkeit [864](#) (f. auch Digestor II, [523](#) f., [528](#) ff.). Gesetzmäßigkeit zwischen der chemischen Zusammensetzung und dem Siedepunkt organischer Verbindungen [864](#) ff. Tabelle der theoretischen Siedepunkte [866](#) ff. Ausdehnung dieser Betrachtungen auf weitere organische Verbindungen [869](#) f. Abweichungen [871](#) f. Bestimmung der Temperatur des Siedepunktes [872](#) f. — Dampf II, [22](#) ff., [39](#) f.
 Siedepunkt, f. Sieden V, [862](#) ff., [871](#), Dampf II, [22](#) ff., [29](#), [184](#); Thermometer VI, [303](#) f.
 Siedetemperatur, f. Siedepunkt.
 Silber V, [873](#). Vorkommen [873](#) f. Gewinnung aus den Erzen [874](#)—[879](#). Verarbeitung des chemisch reinen Silbers [879](#) f. Farbe, Glanz, Härte des Silbers [880](#) f. Silberkrystalle [881](#). Verhalten des Silbers gegen Sauerstoff [881](#) f. Drydation des Silbers durch schmelzende Silicate [882](#). Verhalten gegen Salzsäure, Schwefelsäure und Salpetersäure [882](#) f. Verbindungen des Silbers mit Sauerstoff [883](#) ff. Charakteristische Kennzeichen der löslichen Silberfalte [883](#) ff. Verbindungen des Silbers mit dem Schwefel [888](#), mit dem Chlor [888](#) f., mit dem Phosphor [889](#), mit dem Cyan [889](#) f. Verfilberung des Glases [890](#). Legirungen des Silbers [891](#) f. Erkennung des Silbers [892](#) f. Bestimmung des Feingehaltes einer Legirung [893](#) f. Silberproduction [894](#).
 Silberbaum, f. Metallbaum IV, [1022](#).
 Silberblick, f. Silber V, [873](#).
 Silberglanz (Silberglaserz), f. Silber V, [874](#).
 Silberhyperoxyd, f. Silber V, [885](#).
 Silberkupferglanz, f. Silber V, [874](#).
 Silberoxyd, f. Silber V, [883](#) f.
 Silberoxyd=Ammoniak, f. Silber V, [884](#).
 Silberoxydhydrat, f. Silber V, [883](#), [885](#).
 Silberoxydul, f. Silber V, [883](#).
 Silberfalte, f. Silber V, [885](#) f.
 Silber Schlagloth, f. Silber V, [892](#).
 Silbersuperoxyd, f. Silberhyperoxyd.
 Silberwismutherg, f. Silber V, [874](#).
 Silicium (Kiesel) V, [893](#). Vorkommen und Darstellung [891](#) f. Allotropische Zustände des Kiesels [893](#). Krystallinischer Zustand des Kiesels [895](#) f. Härte des Kiesels [896](#). Chemische Analogien

bezüglich des Kiefels und des Kohlenstoffes 896. Rhomboëdrisches Silicium 897. Schwammförmiges Silicium 897. Verbindungen des Silicium mit Sauerstoff 897 f. Kiefelsäure 897. Bergkryshall und Quarz 898. Silicate: Feldspath 898 f. Hornblende, Augit, Granat 899. Kiefelsäure, im Wasser aufgelöst; Kiefeltuff 899 f. Kiefelsäure in Pflanzen 900. Darstellung reiner Kiefelsäure 900 f. Isomerische Modificationen der Kiefelsäure 901. Verbindungen der Kiefelsäure mit Basen 902. Verbindungen des Kiefels mit Chlor. Siliciumchlorid, s. Silicium V, 903. Siliciumchlorür, s. Silicium V, 903. Sinne V, 903. Begriffsbestimmung 903. Empfindungen 903 f. Gefühlsinn 904 ff. Nerven; Gehirn und Rückenmark 904 f. Gehirn- und Rückenmarksnerven; empfindende und bewegende Nerven 905. — Tastsinn 905 f. Unterscheidung der Tastempfindungen an verschiedenen Stellen des Leibes 906 f. Täuschungen des Tastsinnes 907. Schätzung von Gewichten durch das Tastorgan 907 f. Empfindungen des Warmen und Kalten 908. Abhängigkeit sämtlicher Erregungen der Tastnerven von gewissen Bewegungszuständen 908. — Geschmackssinn 909 ff. Zunge, Zungenwärtchen verschiedener Art 909. Unterscheidung der Tastempfindungen der Zunge von den eigentlichen Geschmacksempfindungen 909. Arten der Geschmacksempfindungen 909 f. Bedingung zur Erregung der Geschmacksempfindung 910. Nachempfindung des Geschmacks 910. — Geruchssinn 911 f. Organ des Geruchsinnes 911. Bedingung zur Erregung des Geruchsinnes 911. Unterscheidung mancher Empfindungen von den eigentlichen Geruchsempfindungen 911. Charakteristik der Geruchsempfindungen 912. — Gesichtssinn 912 ff. Allgemeineres 912. Organ des Gesichtes 913 f. Verschiedene Häute, die sich am Auge unterscheiden lassen 914 f. Nervenhaut (Netzhaut) 915. Erregungen der Sehnerven 916. Krystalllinse 916 f. Wässerige Feuchtigkeit; Glaskörper 917. Durchschnitt des menschlichen Auges 917. Dimensionen des Auges 918 ff. Bild eines äußeren Gegenstandes auf der Netzhaut 920. Arc des Auges; Kreuzungspunkt der Sehlinien 921. Gesicht- oder Sehwinkel 921. Accommodationsvermögen des Auges 922. Sphärische und chromatische Abweichung des Auges 923 f. Fortleitung der Lichtreize durch die Fasern der Sehnerven 924. Mariotte'scher Fleck 924 f. Directes und indirectes Sehen

925. Identische Netzhautstellen 925. Horopter 926. Größe und Entfernung der Gegenstände 927 ff. Beobachtungen an glücklich geheilten Blindgeborenen 929. Weitere Betrachtungen über das Sehen 929—937. Gesichtsebler 937 ff. Kurz- und Weitsichtigkeit 937 f. Gesichtsschwäche; Tagsehen, Nachtsehen, Schneeblindheit; Schielen 938. Schiefsehen und Halbsehen 938 f. Das sogenannte falsche Sehen (pseudoblepsis) 939. Fliegende Rücken (mouches volants) 940. Sehen des Altersgeflechtes im Auge 940. Sehen langer Strahlen (an einem leuchtenden Gegenstande) bei geklärten Augenlidern 940 f. Ueber den die Flamme eines Lichtes umgebenden Hof 941 f. Löwe'sche Farbenringe 942. Haidinger'sche Polarisationbüschel 943. Unvermögen, gewisse Farben zu erkennen und zu unterscheiden 943 ff. Sehen sogenannter falscher Farben 946. Schlussbemerkung 946 f. — Hörsinn 947 ff. Organ des Gehörsinnes 947 f. Äußere Abtheilung desselben; Ohrmuschel, Gehörgang; Trommelfell 947 f. Mittlere Abtheilung des Gehörorganes; Trommelföhle, Eustachische Röhre (Trompete), Vorhofsfenster, Schneckenfenster 948 f. Gehörknöchelchen 949. Muskeln zur Bewegung der Gehörknöchelchen 949. Innere Abtheilung des Gehörorganes (Labyrinth); Vorhof, Bogengänge, Schnecke 950. Häutiger Bogengang; Gehörsand; Gehörnerv 951. Erregung des Gehörnerven 951. Aufnahme der Schallwellen vom Gehörorgane 951 ff. Spannung des Trommelfelles 953 f. Erregung gewisser Geräusche im Ohre 954. Schwingungen des Ohrnorpels 955. Ohrenschnal; 955 f. Schärfe und Feinheit des Gehörs 956. Auffassung gleichzeitiger Töne 956 f. Nachempfindung des Gehörs 957. Beziehung des Gehörten auf etwas Äußeres; Richtung und Entfernung der Schallquelle 957 f. Hinblick auf das Gehörorgan verschiedener Thiere 959.

Sinubralampe, s. Lampe IV, 408.

Sinuselektrometer VI, 1. Elektroskop von Beltier; Abänderung desselben durch Kohleausch 1 ff. Abbildung des Sinuselektrometer 4. Sinuselektrometer von Rieß 8 ff.

Sirene, s. Ton VI, 397.

Sirius, s. Sterne VI, 115; Intensität seines Lichtes mit der des Sonnenlichtes verglichen, s. Photometer V, 282 f.

Sirocco, s. Winde VI, 988.

Smalte, s. Kobalt IV, 287.

Soda, s. Natrium V, 8, 10.

Solano, f. Winde VI, [988](#).
 Solarlampe, f. Lampe IV, [413](#).
 Solfataren, f. Schwefel V, [784](#).
 Solsticialpunkte, f. Sonnenwenden VI, [33](#).
 Solsticien, f. Sonnenwenden VI, [33](#) f.
 Sommer, f. Jahreszeiten IV, [6](#).
 Sommerwendepunkt, f. Sonnenwenden VI, [33](#).
 Sonde, f. Bathometer I, [748](#), Meer IV, [985](#).
 Sonne VI, [12](#). Stand der Sonne im Planetensysteme; Entfernung derselben von der Erde; Durchmesser und Masse derselben [13](#). Fall der Körper auf der Sonne [13](#) f. Flecken der Sonne [14](#) ff. Beziehung zwischen den Sonnenflecken und der magnetischen Declinationsvariation [17](#). Natur der Sonnenflecken [17](#) ff. Sonnenäquator [20](#). Rotationszeit der Sonne [21](#) f. Lichtadern auf der Oberfläche der Sonne [22](#). Sonnenfackeln [22](#) f. Zusammenhang zwischen den Sonnenflecken und den Witterungsverhältnissen auf der Erde [23](#). Physikalische Beschaffenheit des Sonnenlichtes; Intensität desselben [23](#) f. Sonnenwärme, welche jährlich auf die Erdoberfläche fällt [24](#) (f. auch Wärme VI, [719](#) — [724](#). Fortschreitende Bewegung der Sonne [25](#) (f. Fixsterne III, [231](#) ff.).
 Sonnenäquator, f. Sonne VI, [20](#).
 Sonnenbild, prismatisches, f. Brechbarkeit des Lichtes I, [866](#), Farbe III, [23](#).
 Sonnenchylus, f. Chylus I, [1016](#).
 Sonnenfackeln, f. Sonne VI, [22](#) f.
 Sonnenfinsternisse VI, [25](#). Vergl. Mond IV, [1114](#) ff.
 Sonnenflecken, f. Sonne VI, [14](#) ff.
 Sonnenheber, f. Heber III, [718](#).
 Sonnenjahr, f. Jahr IV, [2](#).
 Sonnenlicht, f. Sonne VI, [23](#); Intensität desselben ebenda [23](#) f., Photometer V, [282](#) f., Fixsterne III, [219](#), Licht IV, [481](#).
 Sonnenmikroskop, f. Mikroskop IV, [1068](#).
 Sonnenmonat, f. Monat IV, [1104](#).
 Sonnenrauch, f. Höhenrauch III, [849](#).
 Sonnenscheibe, f. Sonne VI, [14](#). Durchgang des Mercur oder der Venus durch die Sonnenscheibe, f. Durchgang der unteren Planeten durch die Sonnenscheibe oder Vorbeigang derselben vor der Sonne II, [870](#).
 Sonnenspectrum, f. Spectrum (im Reg.).
 Sonnenstillstandspunkte, f. Sonnenwenden VI, [33](#).
 Sonnensystem, f. Planeten V, [319](#) f.
 Sonnenuhren VI, [27](#). Princip [27](#) f. Declinirende Sonnenuhr [28](#). Horizon-

taluhr [28](#). Verticaluhr [29](#). Verticale Mittagshuhr [29](#). Verticale Mitternachtshuhr [29](#). Genauere Betrachtung der Horizontaluhr und verticalen Mittagshuhr [29](#) ff. Constructon einer Sonnenuhr für jede beliebige gegen den Horizont geneigte Fläche [32](#) f.
 Sonnenwenden VI, [33](#). Sommer- und Winterwendepunkt [33](#) f. Kolor der Sonnenwenden; Wendekreise [34](#).
 Sonnenzeit, wahre, mittlere, f. Zeit VI, [1054](#). Sonnenuhren VI, [27](#).
 Sonntagsbuchstabe, f. Kalender IV, [189](#).
 Sonometer, f. Monochord IV, [1120](#).
 Soole, f. Quelle V, [862](#) f., Natrium V, [18](#) f.
 Soolwage, f. Aräometer I, [334](#).
 Soren, f. Winde VI, [987](#).
 Spaltenhöhlen, f. Höhlen III, [833](#).
 Spanisches Weiß, f. Wismuth VI, [1003](#).
 Spannkraft, f. Elasticität.
 Spannungssreihe, galvanische VI, [34](#). Elektrische Differenz je zweier Körper innerhalb dieser Reihe [35](#). Erreger oder Leiter der ersten Klasse (sogenannte trockne Leiter) [35](#). Ermittlung der Stellung, welche einem Metalle in der Spannungssreihe zukommt [35](#) ff. Spannungssreihen der trocknen Leiter [37](#). Ein Versuch über das elektromotorische Verhalten der Metalle, erwiesen von Boggendorff [37](#) f. Numerische Bestimmung der Stellung einiger Metalle in der Spannungssreihe [38](#). Methode von Kohlrausch, die elektrischen Differenzen der Metalle ohne Anwendung von Flüssigkeiten mittelst des Condensators zu vergleichen [39](#) f. Einfluß chemischer Beimischungen auf die Stellung eines Körpers in der Spannungssreihe [40](#) f. Stellung der Amalgame und sonstigen Legirungen [41](#).
 Spannungssreihe, thermoelektrische, f. Thermoelectricität VI, [280](#).
 Sparöfen, f. Heizung III, [758](#) ff.
 Spatheisenstein, f. Eisen II, [618](#).
 Specifisch, f. Absolut I, [17](#).
 Specifisches Gewicht, f. Gewicht III, [546](#), Begriffsbestimmung [546](#) f., Bestimmung des specifischen Gewichts fester Körper [547](#) ff. (f. auch Aräometer I, [278](#), [282](#) f., [285](#), und Volumensmeter VI, [582](#)). Bestimmung des specifischen Gewichts flüssiger Körper [550](#) ff. (f. auch Aräometer I, [278](#) ff.). Bestimmung des specifischen Gewichts gasförmiger Körper [552](#) ff. (f. auch Dampf II, [155](#) ff.). — Dichte II, [479](#).
 Specifische Wärme, f. Wärme VI, [687](#) f.

- Specifisches Volumen, f. Volumtheorie VI, [387 f.](#)
- Spectrum, f. Farbe III, [23](#). Brechbarkeit des Lichtes I, [866 ff.](#) Vertheilung der Wärme im Spectrum des Sonnenlichtes, f. Wärme VI, [657 f.](#)
- Spectrum des elektrischen Funkens, f. Funke, elektrischer III, [293](#).
- Speisen des Dampfkessels mit Wasser, f. Dampfmaschine II, [337](#).
- Speisepumpe, f. Dampfmaschine II, [337](#), [369](#).
- Speiseregulator, f. Dampfmaschine II, [337](#).
- Sphäre, f. Himmel III, [794](#).
- Sphärische Abweichung, f. Abweichung I, [99](#).
- Sphärische Concav- und Convex-Spiegel, f. Spiegel VI, [50 f.](#)
- Sphärische Linse, f. Linsenglas IV, [544](#).
- Sphärische Spiegel, f. Spiegel VI, [50](#).
- Sphäroid, elliptisches, f. Erde II, [877](#).
- Sphärometer VI, [41](#). Sphärometer von Gauchoir [41 f.](#)
- Spiauter, f. Zink VI, [1082](#).
- Spiegel VI, [42](#). Reflexion der Lichtstrahlen an einer Spiegelfläche [42 f.](#) Glas-Spiegel [43 f.](#) Metallspiegel [44](#) (f. auch Silber V, [890](#)). Lichtverlust bei der Spiegelung [45 f.](#) Phänomen eines chinesischen Spiegels [46](#). Ebene Spiegel; Gesetze für dieselben [46 ff.](#) Bewegung der Spiegelbilder bei einem rotirenden Spiegel [48](#). Gegeneinander geneigte Spiegel [48 f.](#) Spiegelkasten [49](#). Gefrümmte Spiegel [50—54](#). Sphärische Spiegel, Hohlspiegel und Convexspiegel [50 ff.](#) Paraboloidische, ellipsoidische und hyperboloidische Spiegel [54](#).
- Spiegelbarometer, f. Barometer I, [690](#).
- Spiegelbild, f. Spiegel VI, [46 ff.](#), [50 ff.](#)
- Spiegelkasten, f. Spiegel VI, [49](#).
- Spiegelmikroskop, f. Mikroskop IV, [1067](#).
- Spiegel-Sextant VI, [54](#). Einrichtung desselben [55 f.](#) Gebrauch desselben zur Bestimmung der Winkeldistanz zweier Gegenstände oder der Höhe eines Gegenstandes [56 f.](#) Verichtigung des Instrumentes [57 f.](#)
- Spiegelteleskop, f. Fernrohr III, [96](#), [103](#).
- Spiegelzimmer, f. Spiegel VI, [49](#).
- Spießglanz, f. Antimon I, [233](#).
- Spießglanzblumen, f. Antimon I, [235](#).
- Spießglanzbutter, f. Antimon I, [239](#).
- Spießglanglas, f. Antimon I, [235](#).
- Spießglangfalk, f. Antimon I, [239](#).
- Spießglangkönig, f. Antimon I, [233](#).
- Spießglangleber, f. Antimon I, [238](#).
- Spießglangjoryd, f. Antimon I, [234 f.](#)
- Spießglangjoryd, schweiftreibendes, f. Antimon I, [237](#).
- Spießglangschwefel, f. Antimon I, [238](#).
- Spießglas, f. Antimon I, [233](#).
- Spillenhäsel, f. Rad an der Welle V, [573](#).
- Spindel, f. Schraube V, [753](#).
- Spindelrad, f. Rad an der Welle V, [573](#).
- Spinnefäden, Dehnbarkeit derselben, f. Dehnbarkeit II, [460](#).
- Spinnefäden, frisch gezogene sind (nach Murray) negativ elektrisch, f. Thierische Elektrizität VI, [343](#).
- Spiritus, f. Weingeist VI, [839](#).
- Spirituslampe IV, [58](#). Gewöhnliche Spirituslampe [58](#). Berzelius'sche Lampe [59 f.](#) Vorrichtungen von Fuchs und Watta [60 f.](#) Holzgeist als Speisungsmaterial der Lampen [61 f.](#) Deville's Lampe [62](#). Erzeugung der Kohlenfeuerung durch Spiritus bei organischen Analysen. Gasfeuerung [62 f.](#)
- Spiritusmanometer, f. Dampfmaschine II, [344](#).
- Spitzen, Einfluß derselben auf die Vertheilung der Elektrizität, f. Elektrizität II, [732 f.](#), [737](#). Leiter der Elektrizität IV, [457](#).
- Spitzenanker (von Böttger), f. Induction, elektrische IV, [18 f.](#)
- Sporadische Sternschnuppen, f. Feuerkugel III, [153](#).
- Sprachgewölbe, Sprechsaal VI, [63](#).
- Sprachmaschine, f. Stimme VI, [139](#).
- Sprachrohr VI, [64](#).
- Sprechmaschine, f. Stimme VI, [139](#).
- Sprechsaal, f. Sprachgewölbe.
- Springbrunnen VI, [65](#). Intermittirende Springbrunnen [66](#). Feuerfontaine [67](#). Mariotte'sches Gefäß [67](#). Schwimmer von Prony [68](#).
- Springfluth, f. Ebbe und Fluth II, [576](#).
- Springheber, f. Heber III, [718](#).
- Springfölbchen, f. Glasfölbchen II, [687](#).
- Spröde, f. Dehnbarkeit II, [453](#), [Glasfölbchen II, 697](#).
- Sprize VI, [68](#). Gewöhnliche Feuersprize [68 f.](#) Kleine Handsprize von Henschel [69](#).
- Sprödigkeit, f. Spröde.
- Sprungegel VI, [69](#).
- Staar, grauer und schwarzer, f. Sinne V, [937](#).
- Stabeisen, f. Eisen II, [624 f.](#)
- Stabiles Gleichgewicht, f. Statik VI, [81 ff.](#)
- Stäbchen, f. Sinne V, [915](#).
- Stärke des Windes, f. Winde VI, [990](#).
- Stahl, f. Eisen II, [626 f.](#)

Stahlwasser, f. Quelle V, 582, Eisen II, 618.

Stanniol, f. Zinn VI, 1094.

Statif VI, 70. Kraft 70 f. Parallelogramm der Kräfte 71. Gleichgewicht dreier Kräfte an einem Punkte 71 f. Statisches Moment einer Kraft in Bezug auf einen Punkt 72. Mittelpunkt der Momente 73. Wirkung paralleler Kräfte 74. Mittelpunkt der parallelen Kräfte 74 f. Theorie des Hebels 75 f. Bestimmung des Angriffspunktes der Mittelkraft einer beliebigen Anzahl paralleler Kräfte 76 ff. Allgemeine Theorie der parallelen Kräfte 78. Betrachtung des Falles, wenn gegebene parallele Kräfte sich auf zwei gleiche Kräfte reduciren, die in entgegengesetztem Sinne wirken 79. Princip der virtuellen Geschwindigkeiten 79 ff. Mechanisches oder Bewegungsmoment 81. Bedingungen des Gleichgewichtes eines schweren Körpers 81 f. Stabilität 82 ff. Balanciren 84 (Anmerkung). Vertheilung des Druckes eines Körpers auf eine gewisse Anzahl von Stützpunkten 85. — Statil tropfbarflüssiger Körper VI, 85 ff. Verbreitung des Druckes in tropfbaren Flüssigkeiten 86 f. Druckhöhe 87. Gleichgewichtsbedingungen einer schweren Flüssigkeit 87. Druck einer Flüssigkeit auf den Boden des Gefäßes, worin es enthalten ist 87 ff. Winkelrechter Druck des Wassers auf eine ebene, senkrechte Wand 89. Mittelpunkt des Druckes 89 f. Druck, den eine Flüssigkeit nach einer gewissen Richtung auf eine Fläche ausübt 90. Druck mehrerer verschiedener Flüssigkeiten auf den Boden eines Gefäßes 91. Communicirende Gefäße 92. Gewichtsverlust eines Körpers in einer Flüssigkeit (Archimedisches Princip) 92 ff. Auftrieb 94. Bedingungen des Gleichgewichtes schwimmender Körper 94 ff. Schwimmaxe, Schwimmebene 96. Metacentrum 97. Schwimmenmachen von Körpern, die specifisch schwerer als Wasser sind 97 f. Schwimmgürtel u. s. w. 98. Künstliches Schwimmen des Menschen 99 f. — Druck lockerer oder halbflüssiger Körper 100. — Statil gasförmiger Körper VI, 101 f. (f. auch Gas III, 410 ff., Expansion II, 950, Dampf II, 20 ff., 86 ff., Dampfmaschine II, 285 ff.).

Stationäre Planeten, f. Planeten V, 320 (Anmerkung), 331.

Staub, Anhängen desselben, f. Adhäsion I, 111.

Staubregen, f. Regen V, 640, 612.

Staubschnee, f. Schnee V, 746.

Stauroskop, f. Polarisation des Lichtes V, 458.

Stehen (Feststehen), f. Statif VI, 82 ff.

Steigbügel (Gehörknöchelchen), f. Sinne V, 949.

Steigkraft des Luftballons, f. Luftball IV, 677 f.

Steinbock, Wendekreis des, f. Erde II, 874.

Steine vom Himmel, f. Feuerkugel III, 146, 162 ff.

Steinfälle, f. Feuerkugel III, 165.

Steinkohlen, f. Berg I, 786, Heizung III, 729.

Steindöl (Elasticität des Dampfes), f. Dampf II, 182.

Steinsalz, f. Natrium V, 22 f.

Stellung einer Eisenstange macht diese magnetisch, f. Magnetismus der Erde IV, 809.

Stellung eines Körpers in der galvanischen Spannungsreihe, f. Spannungsreihe, galvanische VI, 34, 37, 40 f.

Stellung eines Körpers in der thermoelektrischen Spannungsreihe, f. Thermoelectricität VI, 280 f.

Stereographische Projection, f. Projection V, 488.

Stercometer, f. Volumenometer VI, 583.

Stereoskop VI, 104. Auffassung der Erscheinung von Wheatstone und Anderen 104 f. Spiegelstereoskop von Wheatstone 105 f. Stereoskopisches Sehen ohne Apparat 107 f. Dove's Prismenstereoskop 108 ff. Benützung der Doppelbrechung zum stereoskopischen Sehen 110, Brewster's Linsenstereoskop 110 f. Photographien als Objecte für das Stereoskop 111. Telestereoskop von Helmholtz 111 f. — Sinne V, 934.

Sternbilder, f. Sterne VI, 112.

Sterndeutefunst, f. Astrologie I, 373.

Sterne VI, 112. Sternbilder (Asterismen) 112 ff. Aeltere Namen und neuere Bezeichnung der Sterne 114 f. Orientirung am Himmelszelt 115. Sternkataloge und Sternkarten 116 f.

Sternenlicht, farbiges, f. Fixsterne III, 220.

Sterngruppen, f. Sterne VI, 112, Nebelflecke V, 43.

Sternkarten, f. Sterne VI, 116 f.

Sternkunde, f. Astronomie I, 374.

Sternnebel, f. Nebelflecke V, 43.

Sternrad, f. Räderwerk V, 575.

Sternschnuppen, f. Feuerkugel III, 146.

Beschreibung des Phänomens 148. Höhe desselben 148 f., Ort desselben 149. Entfernung der Sternschnuppen 150. Farbe derselben 150. Größe 151. Sternschnuppen im November 151. November-

und August-Periode 152. Die periodischen Sternschnuppenschwärme sind von den sporadischen Sternschnuppen zu unterscheiden 153. Ursache der Periodicität 153 f. Beziehung der periodischen Sternschnuppenströme im August und November auf die kalten Tage des Februar und Mai 154 f. Schilderung großartiger Sternschnuppenercheinungen 155 f.

Sternschüsse, f. Feuerkugel III, 146.

Sterntag, f. Zeit VI, 1053.

Sternzeit, f. Zeit VI, 1053.

Stethoskop VI, 117.

Steuercompaß, f. Deklinatorium II, 461, 462 f.

Steuerexcentrif, f. Dampfmaschine II, 349.

Steuerstange, f. Dampfmaschine II, 349.

Steuerung, f. Dampfmaschine II, 274, 349 ff.

Stibium, f. Antimon I, 233.

Stickgas, f. Stickstoff VI, 118.

Stickoxyd, f. Stickstoff VI, 121, 122 f.

Stickstoff VI, 118. Geschichtliches 118. Darstellung des Stickstoffes 118 f. Eigenschaften 119 f. Stickstoffgehalt des Guano 120. Verbindungen des Stickstoffes mit Sauerstoff 121 ff. Stickstoffoxydul (Luftgas) 121 f. Stickstoffoxyd 122 f. Salpetrige Säure 123 f. Salpetrige Säure Salze 124 f. Untersalpetersäure (salpetrige Salpetersäure) 125 f. Salpetersäure 126 ff. Salpetersäure des Handels 128 f. Schießbaumwolle 130. Verwendung der Salpetersäure 130. Verhalten der Salpetersäure gegen thierische Stoffe 131. Erkennung der salpetersauren Salze und der Salpetersäure 131 f. Quantitative Bestimmung der Salpetersäure 132. Verbindungen des Stickstoffes mit Wasserstoff, mit Kohlenstoff und Schwefel 132. Chlornickstoff 132 f. Borstickstoff 133.

Stickstoffoxyd, f. Stickstoff VI, 122 f.

Stickstoffoxydul, f. Stickstoff VI, 121 f.

Stiefel der Luftpumpe, f. Luftpumpe IV, 715.

Stillstehende Planeten, f. Planeten V, 320 (Anmerkung), 331.

Stimmbänder, f. Stimme VI, 133.

Stimme VI, 133. Beschreibung des Organs 133. Sitz der Stimme in der Stimmrinne 133 f. Bewegende Ursache des Organs 134. Vergleichung des menschlichen Stimmorgans mit anderen musikalischen Instrumenten 134. Versuche Müller's mit membranösen Zungen 134 ff. Umfang der menschlichen Stimme 137. Männliche und weibliche Stimme; Klang der Stimme 137. Pfeis-

fen mit dem Munde 137 f. Geräusche und Laute; Eintheilung der Sprachlaute 138. Künstliche Nachahmung der Töne der menschlichen Stimme und der Sprachlaute 139. Stimmorgan der Säugethiere, des Frosches und der Vögel 139 f.

Stirnrad, f. Räderwerk V, 575.

Stöchiometrie, f. Verwandtschaft, chemische VI, 548, 557 f., 568 ff.

Stöße, f. Interferenz IV, 105, Ton VI, 396.

Stoffe, einfache, f. Einfache Körper II, 596.

Stoßbüchse, f. Dampfmaschine II, 348 f.

Stoß, f. Bewegung I, 838—843, Druck II, 551 f., 553 ff.

Stoßheber oder hydraulischer Widder VI, 140. Größere Vorrichtung dieser Art 140 f. Kleinere Vorrichtung zu physikalischen Experimenten 141. Andere Einrichtung des Stoßhebers 142 f.

Stoßmaschine, f. Bewegung I, 842.

Strahlenband, f. Sinne V, 914.

Strahlenbrechung, astronomische VI, 143. Entwicklung der Erscheinung 143 f. Bestimmung der Höhenveränderung 144 f. Ein anderer Weg, die Strahlenbrechung näherungsweise zu berechnen 145. Erscheinungen, welche durch die astronomische Strahlenbrechung bedingt werden 146. Mittlere Strahlenbrechung für verschied. Zenithdistanzen 146.

Strahlenbrechung, terrestrische VI, 146.

Strahlende Wärme, f. Wärme VI, 615 bis 661.

Strahlenförmige Fortsätze, f. Sinne V, 914.

Strahlenkranz, Strahlenkörper, f. Sinne V, 914.

Strahlenschüsse, f. Kometen IV, 326 f.

Strand, f. Meer IV, 980.

Stratus, f. Wolken VI, 1017, 1019.

Streckbarkeit, f. Dehnbarkeit II, 453.

Strichregen, f. Regen V, 610.

Stricke, deren Festigkeit, f. Festigkeit III, 126.

Stroboskopische Scheiben VI, 147. Princip und Darstellung der Erscheinung 147 f. Zeichnung einer stroboskopischen Scheibe 148 f. Anwendung der stroboskopischen Scheibe in der Wellenlehre 150. Größe der Löcher etc. 150. Apparat zur Drehung der Scheibe 150 f. Geschichtliches 151. Verschiedene andere Erscheinungen, die sich an die der stroboskopischen Scheibe anschließen 152 f.

Ströme, Flüsse VI, 153. Hauptfluß; Mündung 153 f. Flußsysteme; Quellenbezirk; Wasserscheide 154. Bei größeren

Strömen lassen sich drei Stufen ihres Laufes unterscheiden [184](#). Bestimmung der Geschwindigkeit des strömenden Wassers, Hydrometer [185](#). Hydrometrischer Flügel Voltmann's [185](#) f. Stromquadrant (hydrometrisches Pendel) [186](#). Pitot'sche Röhren [187](#). Wassermenge, welche durch ein Quersprofil fließt [187](#) f. Größte Geschwindigkeit; Wasserfälle [188](#) f. Stromschnellen; Katarakten [189](#). Größe der Flüsse und Ströme [189](#) f. Die Stromgebiete der größeren Flüsse [160](#). Anschwellungen der Flüsse [161](#). Pegel [161](#). Verminderung der mittleren Wassermasse einiger Flüsse [161](#). Verschwinden mancher Flüsse unter Felsen u. [161](#). Chemische Beschaffenheit und Farbe des Flußwassers [161](#) f. Schlammgehalt [162](#). Delta-bildung [162](#).

Strömungen, f. Meer IV, 1000.

Stroh-Oligableiter, f. Hagel III, [688](#) f.

Strohhalm-Elektrometer, f. Elektrometer II, [829](#).

Strom, [elektrischer](#) VI, [162](#). Stärke des elektrischen Stromes; Ohm'sche Formel [163](#) ff. Reducirter Leitungswiderstand einer Kette oder Säule [164](#). Einige Folgerungen aus dem Ohm'schen Gesetze [164](#) f. Verschiedene Weise, wie sich eine gegebene Menge von Material zur Construction einer Säule verwenden läßt [165](#) f. Experimentale Bestätigung des Ohm'schen Gesetzes [166](#). Schwingungsmethode zur Messung der Stromstärke [166](#) f. Fall, wenn sich der Schließungsbogen einer Kette in zwei Arme theilt [168](#) f. Bietrina's Methode zur Vergleichung der Stromstärke verschiedener galvanischer Ketten [169](#). Methoden Boggendorff's zur Bestimmung der elektromotorischen Kraft inconstanter galvanischer Ketten [169](#) ff. Methode Kirchhoff's [173](#) (Anmerk.). Maximum der Stromstärke einer einfachen constanten Kette [175](#). Wheatstone's Rheostat [176](#) ff. Bestimmung des Widerstandes oder der reducirten Länge einer galvanischen Kette vermittelt des Rheostats [178](#) f. Benützung des Rheostats zur Bestimmung der Beziehungen zwischen den Ablenkungen der Galvanometernadel und den entsprechenden Stromstärken [179](#) f. Messung galvanischer Leitungswiderstände nach absolutem Maße [180](#) ff. Wichtigkeit eines bestimmten allgemein angenommenen Maßes für die Leitungswiderstände [184](#) f. Weber's Formel für die Messung starker galvanischer Ströme nach absolutem Maße [185](#) f. Galvanische Polarisation [187](#) f. Untersuchungen von Kirchhoff und Helmholtz [188](#). Eine Wahr-

nehmung Boggendorff's bezüglich der Funkenerscheinung des galvanischen Stromes [189](#). Bewegung der Flüssigkeitstheilchen in der Richtung vom positiven zum negativen Pol [189](#) f. Einige Gesetze über die Anziehung und Tragkraft der Elektromagnete [191](#). Gesetze der Wärmeerregung des elektrischen Stromes [191](#) ff. Glühen von Platinspiralen, die in einer Atmosphäre von Sauer- oder Wasserstoff vom elektrischen Ströme durchflossen werden [193](#). Secundäre mit Lichtschein verbundene Zersetzung [193](#). Beobachtungen von Gauss über einen magnetoelctrischen Inductionsstrom, welcher durch einen mit verdünnter Luft gefüllten Glasballon zwischen zwei Metallkugeln überging; Untersuchungen von Rieß über denselben Gegenstand [193](#) f. Verschiedenheit des Volta'schen und Inductionsstromes bezüglich der Wärmewirkung [197](#). Anwendungen des elektrischen Stromes und des durch ihn erzeugten Magnetismus [197](#) ff. Chronoskop [197](#) f. Benützung zur Messung der Geschwindigkeit von Geschossen [198](#). Elektromagnetische Uhren [199](#).

Stromgebiet, f. Ströme VI, [154](#), [160](#).

Strommesser, f. Ströme VI, [155](#) ff.

Stromquadrant, f. Ströme VI, [156](#).

Stromschnellen, f. Ströme VI, [159](#).

Strontian, f. Strontium VI, [199](#) f.

Strontiansalze, f. Strontium VI, [200](#) f.

Strontium VI, [199](#). Vorkommen [199](#) f.

Verbindungen des Strontium mit den Sauerstoff [200](#). Strontiansalze [200](#) f. Färbungen der Flammen durch Strontianverbindungen [201](#). Leichte Unterscheidung der Strontiansalze von den Barytsalzen [201](#).

Strontiumoxyd, f. Strontium VI, [200](#).

Strontiumsuperoxyd, f. Strontium VI, [200](#).

Strudel, f. Meer IV, 1000, [1007](#) f.

Stürme, f. Winde VI, [969](#) ff.

Stulpliderung, f. Pumpe V, [500](#).

Stunden, f. Tag VI, [209](#).

Stundenwinkel, f. Zeit VI, [1053](#) f., Sonnenuhren VI, [27](#).

Sturmfluthen, f. Ebbe und Fluth II, [579](#).

Sturzlampe, f. Lampe IV, [409](#).

Subjective Farben, f. Farbe III, [44](#).

Sublimat, f. Sublimation VI, [202](#), Quecksilber V, [544](#).

Sublimation VI, [202](#).

Süd, f. Horizont III, [883](#).

Südhälfte der Erde in klimatischer Hinsicht, f. Isothermen IV, [174](#), Regen V, [603](#).

Südlicht, f. Nordlicht V, [81](#).

Südpunkt, f. Abendpunkt I, [2](#).

Südpol der Erde, f. Erde II, 873.
 Südpol des Magnets, f. Magnetismus IV, 746, Magnetismus der Erde IV, 809 f.
 Sümpfe, Moore, Moräste, Brüche VI, 204. Bildung der Sümpfe 204 f. Schwimmende Inseln 204 f. Torfmoore 205 f.
 Süße Quellen, f. Quelle V, 547 f., 561 f., 565; Wasserstoff VI, 827 f.
 Sulfäthplessigsäure, f. Säuren V, 675.
 Sulfäthplessigwefelsäure, f. Säuren V, 675.
 Sulfobasen, f. Salze V, 682.
 Sulfosäuren, f. Salze V, 682.
 Sumpf, f. Sümpfe VI, 204.
 Sumpf (Wasserraum einer Pumpe), f. Pumpe V, 490.
 Sumpfluft (Sumpfgas), f. Kohlenstoff IV, 310.
 Sund, f. Meer IV, 980; Sunde ebenda 1005.
 Supernumerarbogen, f. Regenbogen V, 618.
 Symmer's elektrische Theorie, f. Elektrizität II, 743 f.
 Sympathetische Tinte, f. Tinte VI, 372 f.
 Sympiezometer VI, 206.
 Synodischer Monat, f. Monat IV, 1103.
 Systeme, krystallographische, f. Krystal IV, 358 f., 361 ff.
 Syzygien VI, 207.

Tabelle über die Ablenkung der Magnetnadel durch die Eisenmasse eines Schiffes, f. Ablenkung der Magnetnadel I, 7.

- über die Beobachtungen, welche an Bord des Schiffes Conway zu Portsmouth Harbour am 24. Juli 1820 über die locale Anziehung der Magnetnadel angestellt wurden, f. Ablenkung der Magnetnadel I, 9 f.
- über die Absorption der Gase durch Flüssigkeiten, f. Absorption I, 23, 24, 25, 26.
- über die Absorption unvermischter Gase durch Kohle, f. Absorption I, 38.
- über das Absorptionsvermögen verschiedener fester Körper, f. Absorption I, 40.
- über das Absorptionsvermögen der Kohlenarten in Rücksicht ihres specifischen Gewichtes, f. Absorption I, 41.
- über die Abweichungen der Magnetnadel für verschiedene Orte der Erde, f. Abweichung der Magnetnadel I, 49 bis 82.
- über die ältesten Beobachtungen der Ab-

weichung der Magnetnadel zu Paris, f. Abweichung der Magnetnadel I, 82 f.

Tabelle über magnetische Declinationsbeobachtungen am Cap der guten Hoffnung, f. Abweichung der Magnetnadel I, 83.

- über berechnete Abweichungen der Magnetnadel zu London von 1660—1818, f. Abweichung der Magnetnadel I, 84.
- über mittlere Abweichungen der Magnetnadel in Paris, f. Abweichung der Magnetnadel I, 85.
- über mittlere Abweichungen der Magnetnadel in London, f. Abweichung der Magnetnadel I, 85.
- über die Abnahme der magnetischen Declination, f. Abweichung der Magnetnadel I, 86.
- über die Beobachtungen der Weite der magnetischen Ablenkungen vom 12. und 13. April 1836, f. Abweichung I, 88 f.
- über die Variationen der Declinationsnadel von Stunde zu Stunde an verschiedenen Orten, f. Abweichung I, 92.
- über die Störungen der Declinationsnadel durch Nordlichter, f. Abweichung I, 95, 96, 97 f.
- über die Stärke der Adhäsion verschiedener Flüssigkeiten an festen Körper, f. Adhäsion I, 113.
- über das specifische Gewicht der Ammoniakflüssigkeit in Bezug auf den Gehalt an Ammoniak I, 148.
- über Beobachtungen mit dem Woltmann'schen Anemometer, f. Anemoskop I, 209.
- über Apparate und Instrumente, f. Apparat I, 248 ff.
- über Scalentheile des Baumgartner'schen Aräometers, f. Aräometer I, 286 f.
- zur Erleichterung der Rechnung bei Bestimmung der Scalenpunkte eines Aräometers, f. Aräometer I, 294 f.
- über Aräometerangaben (nach Beaumé, Becke.) für Flüssigkeiten, welche schwerer als Wasser sind, f. Aräometer I, 300 f., für Flüssigkeiten, die leichter als Wasser sind, ebenda 302.
- über den dem specifischen Gewichte entsprechenden Alkoholgehalt einer Mischung von Alkohol und Wasser (nach Gewichtsprocenten), f. Aräometer I, 305 f., nach Gewichts- und Volumprocenten ebenda I, 306 f.
- über das specifische Gewicht verschiedener Mischungen aus Alkohol und Wasser bei

verschiedenen Temperaturen, f. *Aräometer* I, 309 f.

Tabelle von Tralles über die specif. Gewichte der Mischungen von Alkohol und Wasser, von denen 100 Quart oder Cubitzoll 1, 2, 3, 4 u. Quart oder Cubitzoll reinen Alkohols enthalten, f. *Aräometer* I, 311.

- über die Veränderungen des specifischen Gewichtes der Branntweine mit der Wärme f. *Aräometer* I, 313.
- über das scheinbare specifische Gewicht der Branntweine von verschiedener Mischung und Wärme, wie es sich bei Abwägung mittelst eines Glaskörpers zeigt, f. *Aräometer* I, 314.
- zur Reduction für messingene Spindeln, f. *Aräometer* I, 314.
- , welche den wahren Alkoholgehalt aus dem Volumen und dem scheinbaren specifischen Gewichte der Branntweine giebt, wenn beide bei gleicher Temperatur bestimmt worden sind, f. *Aräometer* I, 318.
- für Alkoholometer, für 60 F. Wärme, f. *Aräometer* I, 321.
- , um den wirklichen Alkoholgehalt aus den Anzeigen des *Aräometers* bei verschiedenen Temperaturen zu finden, f. *Aräometer* I, 323.
- , um den wirklichen Alkoholgehalt aus dem scheinbaren zu finden, f. *Aräometer* I, 325.
- über die Angaben eines gläsernen Alkoholometers bei verschiedenen Temperaturen, f. *Aräometer* I, 326.
- über den Alkoholgehalt nach Gay-Lussac's Alkoholometer, f. *Aräometer* I, 327.
- von Marceau, durch Versuche mit einem Gay-Lussac'schen Alkoholometer gewonnen, f. *Aräometer* I, 328.
- über den Alkoholgehalt, den ein Weingeist bei 15° C. beßigen würde, aus den Anzeigen eines bei anderen Temperaturen in ihn eingetauchten Centesimal-Alkoholometers zu finden, f. *Aräometer* I, 330 bis 339.
- über den wahren Alkoholgehalt für die jedesmalige Temperatur des Weingeistes, f. *Aräometer* I, 340—346.
- über Gewichtsprocente des Alkohols, verglichen mit den Tralles'schen Volumprocenten bei 60° F., f. *Aräometer* I, 346.
- über Richter's Gewichtsprocente, verglichen mit den Tralles'schen Volumprocenten bei 60° F., f. *Aräometer* I, 347.
- , in welcher die Reissner'schen Grade mit denen der Instrumente von Beck, Richter

und Tralles und den entsprechenden specifischen Gewichten des Alkohols zusammengestellt sind, f. *Aräometer* I, 347 bis 350.

Tabelle über die Anzahl der Athemzüge in einer Minute mit Rücksicht auf das Lebensalter, f. *Athmen* I, 430.

- über das Verhältniß der verschwundenen zur eingeathmeten Luft, des exspirirten kohlensauren Gases zum absorbirten Sauerstoff, ferner des absorbirten und nicht zur Kohlensäurebildung verwandten Sauerstoffs zum Gesamtvolumen des absorbirten Sauerstoffs, und des ausgeschiedenen Stickgases zur gesammten eingeathmeten Luft, f. *Athmen* I, 433.
- über die Menge der von verschiedenen Thierklassen ausgeschiedenen Kohlensäure, reducirt auf eine gleiche Gewichtsmenge der Thiere, f. *Athmen* I, 435.
- über das ausgeathmete Gas in einem Versuche von Allen und Pevys, f. *Athmen* I, 435 f.
- über den Einfluß der Temperatur auf die Respiration, f. *Athmen* I, 439 f.
- über den Einfluß des Luftdruckes auf das Athmen, f. *Athmen* I, 440.
- über den durch's Athmen ausgeschiedenen Kohlenstoff mit Rücksicht auf das Lebensalter, f. *Athmen* I, 443.
- über den Sauerstoffgehalt der Atmosphäre mit Bezug auf Wetter und Wind, f. *Atmosphäre* I, 454.
- über die von Brunner ausgeführten Luftanalysen, f. *Atmosphäre* I, 455.
- über die von Levy mit der Luft zu Kopenhagen ausgeführten Analysen, f. *Atmosphäre* I, 456.
- über die von Levy mit der atmosphärischen Luft der Nordsee ausgeführten Analysen, f. *Atmosphäre* I, 457.
- über die Luft von Guadeloupe, f. *Atmosphäre* I, 457.
- über den Kohlen säuregehalt der atmosphärischen Luft am Tage und in der Nacht, f. *Atmosphäre* I, 460.
- über die Abnahme der Dichtigkeit der atmosphärischen Luft mit wachsender Höhe, f. *Atmosphäre* I, 488.
- über die Zunahme der Dichtigkeit der Luft in der Tiefe f. *Atmosphäre* I, 489.
- über den Gang des Barometers während eines Tages unter verschiedenen Breiten, f. *Atmosphäre* I, 499.
- über die Wendestunden des Barometerstandes, f. *Atmosphäre* I, 500.
- über die Abweichung der Wendestunden des Barometerstandes, f. *Atmosphäre* I, 501.

- Tabelle über die Wendestunden des Barometerstandes für die einzelnen Monate des Jahres, f. Atmosphäre I, 501.**
- über die Größe der täglichen Barometerschwankungen, f. Atmosphäre I, 502.
 - über gleichzeitige Barometerbeobachtungen zu Zürich und auf dem Rigi, f. Atmosphäre I, 503, 506.
 - über den mittleren Barometerstand und die mittlere tägliche Barometeroscillation verschiedener Orte, f. Atmosphäre I, 508.
 - über die verschiedenen Breiten entsprechenden Barometeroscillationen, f. Atmosphäre I, 509.
 - über die den Barometerschwankungen entsprechenden Veränderungen des Thermometerstandes, f. Atmosphäre I, 510.
 - über die Barometerschwankungen, welche allein durch den Druck der trocknen Luft hervorgerufen werden, f. Atmosphäre I, 513.
 - über Barometerbeobachtungen in Petersburg und Catharinenburg, sowie in Varnoul und Slatust, f. Atmosphäre I, 515.
 - über den Luftdruck in den einzelnen Monaten des Jahres für verschiedene Orte, f. Atmosphäre I, 516 ff.
 - über den Einfluß der Jahreszeit und der geographischen Lage auf die unregelmäßigen täglichen Schwankungen des Barometers, f. Atmosphäre I, 520.
 - über die mittleren monatlichen Barometeroscillationen für eine Reihe von Orten, f. Atmosphäre I, 520 f.
 - über die Breiten, in denen die isobarometrischen Linien von 2, 4... Par. Linien die verschiedenen Meridiane durchschneiden, f. Atmosphäre I, 523.
 - über die Correctionen, welche wegen der Schwere an verschiedenen Orten der Erdoberfläche an den Barometerbeobachtungen anzubringen sind, f. Atmosphäre I, 525 f.
 - über die mittleren Barometerstände, f. Atmosphäre I, 527 f.
 - über den mittleren Meeresspiegel, f. Atmosphäre I, 530.
 - über die mittleren Barometerstände der acht Mondphasen (vom ganzen Jahre in Millimetern über 750) für Paris, Straßburg und Karlsruhe, f. Atmosphäre I, 531.
 - über die mittleren Barometerstände der 24 Mondstunden (in Millimetern über 750) für die verschiedenen Jahreszeiten und das ganze Jahr, f. Atmosphäre I, 533.

- Tabelle über die Barometerstände der sogenannten Doppelstunden, f. Atmosphäre I, 535.**
- über die Barometerstände von je zwei Phasen, f. Atmosphäre I, 536.
 - über die Elasticität des Wasserdampfes für die Grade des Reaumur'schen Thermometers, f. Atmosphäre I, 542 bis 544.
 - über das Gewicht des Wasserdampfes im Maximum, welchen ein Pariser Cubiffuß bei verschiedenen Temperaturen enthält, f. Atmosphäre I, 545.
 - über die Elasticität und das Gewicht des Wasserdampfes (nach Regnault), f. Atmosphäre I, 546.
 - über die Menge Wasserdampf, die ein Pariser Cubiffuß enthält, f. Atmosphäre I, 547.
 - über den Druck des Wasserdampfes zu Halle in den verschiedenen Tagesstunden, f. Atmosphäre I, 550.
 - über die relative Feuchtigkeit in Halle, f. Atmosphäre I, 551.
 - über den Gang der Feuchtigkeit an der Küste der Dänie bei Treptow, f. Atmosphäre I, 553.
 - über die Größen des Dampfdruckes in Apennate, f. Atmosphäre I, 554.
 - über den Gang der Feuchtigkeit in der Luft auf dem Rigi und dem Faulhorn, f. Atmosphäre I, 555 f.
 - über die absolute und relative Dampfmenge für die einzelnen Monate (in Halle), f. Atmosphäre I, 557.
 - über die Dampfmenge an verschiedenen Orten, f. Atmosphäre I, 558.
 - über die lineare Ausdehnung, welche feste Körper zwischen 0° und 100° C. erleiden, f. Ausdehnung I, 576 ff.
 - über die cubische Ausdehnung des Glases, f. Ausdehnung I, 580.
 - über die Dichtigkeiten verschiedener Flüssigkeiten, f. Ausdehnung I, 586.
 - über die Ausdehnung verschiedener Flüssigkeiten, f. Ausdehnung I, 586.
 - über die Ausdehnung der Schwefelsäure, Salpetersäure, des Terpentinöls, Alkohols und Quecksilbers, f. Ausdehnung I, 587.
 - über die Zusammenziehung des Wassers, Alkohols, Schwefelkohlenstoffes und Schwefeläthers, f. Ausdehnung I, 588.
 - über die Ausdehnung des Quecksilbers, f. Ausdehnung I, 589.
 - über die Ausdehnung und Dichtigkeit des Wassers, f. Ausdehnung I, 594, 595.

Tabelle über die Ausdehnung des künstlich bereiteten Seewassers, f. Ausdehnung I, 597.

- über die Ausdehnung des absoluten Alkohols, f. Ausdehnung I, 598.
- über die Ausdehnung des Schwefeläthers, f. Ausdehnung I, 599.
- über die Ausdehnung der Schwefelsäure, f. Ausdehnung I, 599 f.
- über die Ausdehnung des Mandelöles, f. Ausdehnung I, 600.
- über die Ausdehnung der Ammoniakflüssigkeit, der Salzsäure und Salpetersäure, f. Ausdehnung I, 601 f.
- über die Ausdehnung des Schwefelkohlenstoffes, f. Ausdehnung I, 602.
- über die Ausdehnung verschiedener Flüssigkeiten (nach Frankenheim), f. Ausdehnung I, 604.
- über die Volumina verschiedener Flüssigkeiten in gleichen Abständen von ihren betreffenden Siedpunkten, f. Ausdehnung I, 603—610.
- für Formeln, welche das bei 10° C. stehende Volumen einer Flüssigkeit ausdrücken, ihr Volumen bei 0° gleich 1 gesetzt, f. Ausdehnung I, 611—614.
- über die Ausdehnung der Luft, f. Ausdehnung I, 615 f.
- über die Ausdehnung verschiedener Gase, f. Ausdehnung I, 622.
- der Ausflusscoefficienten für den Ausfluß des Wassers durch rechteckige Oeffnungen von 0,2 Meter Breite in einer vertikalen dünnen Wand nach Bouquet und Robbes, f. Ausfluß des Wassers und der Luft I, 628, 629.
- der Ausflusscoefficienten für Ueberfälle von 2 Decimeter Breite, f. Ausfluß etc. I, 629.
- über die Correctionen der Ausflusscoefficienten für freirunde und rechteckige Oeffnungen, f. Ausfluß etc. I, 631.
- zur Reduction der Barometerstände von Pariser Linien auf Millimeter und umgekehrt, f. Barometer I, 668 bis 671.
- zur Reduction des Barometerstandes auf 0° C., f. Barometer I, 703—706.
- zur Reduction des altfranzösischen Barometers, f. Barometer I, 708 ff.
- zur Reduction der Barometerhöhen in Millimetern, f. Barometer I, 711.
- zur Reduction des englischen Barometers, f. Barometer I, 713 ff.
- über die Depression des Quecksilbers in Barometerröhren, f. Barometer I, 737, 738, 739.
- über den Einfallswinkel der Quecksilber-

oberfläche gegen die Röhrenwand eines Barometers, f. Barometer I, 741.

Tabelle zur Methode der kleinsten Quadrate, f. Beobachtung I, 761 f.

- über die Länge und Streichungslinie der Gebirge, f. Berg I, 767 f.
- über den Flächeninhalt der Hoch- und Gebirgs-, sowie der Tiefländer der Erde, f. Berg I, 770.
- über das Höhenverhältniß zwischen dem Kamm, als der mittleren Höhe eines Gebirges und dessen größter Erhebung, f. Berg I, 777.
- über die Höhe der Gebirgspässe, f. Berg I, 780.
- über die höchsten Berge der Erde, f. Berg I, 781.
- über die Gebirgsformationen, f. Berg I, 796 f.
- über das Gefälle der Erde, f. Bewegung des Wassers I, 851.
- über die Brechungsverhältnisse der von Fraunhofer mit B, C, D, E, F, G, H bezeichneten Farbestrahlen, f. Brechbarkeit des Lichtes I, 869.
- über die Brechungsverhältnisse der verschiedenen Farben in vier sehr häufig angewendeten doppeltbrechenden Krystallen, f. Brechbarkeit des Lichtes I, 870.
- über die Zerstreuungsverhältnisse für die verschiedenen Substanzen, f. Brechbarkeit des Lichtes I, 871.
- der Brechungsponenten, f. Brechung des Lichtes I, 884—890.
- der natürlichen durchsichtigen Krystalle mit einer optischen Axe, f. Brechung des Lichtes I, 897.
- der wichtigeren Krystalle mit zwei optischen Axen, f. Brechung des Lichtes I, 901 f.
- zur Ermittlung der Stärke der künftigen Salzsäure aus ihrem specifischen Gewichte, f. Chlor I, 961 f.
- zur Auffindung des absoluten Gehaltes von Chlorgas im Chlorkalk, f. Chlorometrie I, 965—967.
- über die Erleuchtung einer horizontalen Fläche durch das Licht der Dämmerung bei verschiedener Tiefe der Sonne, f. Dämmerung II, 19.
- über den Siedepunkt von Salzlösungen (nach Griffith), f. Dampf II, 29.
- über den Verzug des Siedepunktes bei Salzlösungen, f. Dampf II, 31—35.
- über die Verdampfungswärme und über die Gesamtwärme des Dampfes (nach Southern und Element), f. Dampf II, 54.
- von Ure über die Wärme zur Dampfs-

- bildung verschiedener Flüssigkeiten, s. Dampf II, [37](#).
- Tabelle von Erdgeld über die zur Dampfbildung nöthige Wärme, s. Dampf II, [37](#).
- über die Gesamtwärme und gebundene Wärme des Dampfes verschiedener Flüssigkeiten (nach Desprez und Brir), s. Dampf II, [39](#).
 - über die Verdampfungswärme verschiedener Flüssigkeiten (nach Person), s. Dampf II, [60](#).
 - über die latente Verdampfungswärme verschiedener Substanzen, bezogen auf die Atomgewichte, s. Dampf II, [62](#).
 - über die latente Wärme (verschiedener Substanzen) für 1 Gramm und für 1 Litre des Dampfes, nebst Angabe der specifischen Wärme, s. Dampf II, [66](#).
 - über die Gesamtwärme *ıc.* des Wasserdampfes *ıc.* (bei Drucken bis zu [14](#) Atmosphären) nach Regnault's Versuchen, s. Dampf II, [79](#).
 - über die Gesamtwärme *ıc.* des Wasserdampfes (bei Drucken von [0,64](#) bis [0,22](#) Atmosphären) nach Regnault's Versuchen, s. Dampf II, [82](#).
 - über die Gesamtwärme des Wasserdampfes bei sehr geringem Druck (nach Regnault's Versuchen), s. Dampf II, [83](#).
 - über die Gesamtwärme des gesättigten Wasserdampfes, berechnet von Regnault, s. Dampf II, [83](#).
 - über die latente Wärme des Wasserdampfes für die Siedetemperatur nach verschiedenen Physikern, s. Dampf II, [86](#).
 - über die Elasticität des Wasserdampfes bei verschiedenen Temperaturen, s. Dampf II, [118](#) ff.
 - über die Elasticität des Wasserdampfes, ausgedrückt in Quecksilbersäulen (nach Wiener und Pariser Zoll) und in Wiener Pfunden auf den Quadratzoll, nebst der Anzahl Cubikfuße Dampf aus einem Pfund Wasser und der Dichtigkeit des Dampfes gegen jene des Wassers = [1](#), s. Dampf II, [124—128](#).
 - über die Elasticität des Wasserdampfes von — 20° bis 100°, s. Dampf II, [128](#).
 - über die Elasticität des Dampfes in Atmosphären (zu [0,76](#) Meter Barometerst.) und Druck desselben auf einen Quadracentimeter in Kilogrammen, s. Dampf II, [130](#).
 - von Magnus über die Spannkraft des Dampfes in Millimetern, s. Dampf II, [131](#).

- Tabelle über die Elasticität des Wasserdampfes von — 32° bis 100°, s. Dampf II, [132](#).
- über die Elasticität des Wasserdampfes für die Temperaturen über 100° (von [1](#) bis [4,4](#) Atmosphären), s. Dampf II, [133](#).
 - von Radoke (berechnet nach einer Formel von Egen) über die Elasticität des Wasserdampfes in Atmosphären, s. Dampf II, [134](#).
 - über die Elasticität des Weingeistes, s. Dampf II, [142](#) f., [144](#).
 - über die Elasticität des Quecksilberdampfes, s. Dampf II, [146](#).
 - über die Elasticität des Schwefelätherdampfes, s. Dampf II, [148](#).
 - über die Elasticität des Schwefelkohlenstoffdampfes, s. Dampf II, [149](#) f.
 - über die Elasticität des Kohlenwasserstoffgases, s. Dampf II, [151](#).
 - über die Elasticität des Steinöls- und Terpentindampfes, s. Dampf II, [152](#).
 - über den Druck, bei welchem gewisse Gase tropfbar werden, s. Dampf II, [153](#).
 - über die Dichte des Wasserdampfes (nach Schmedding) s. Dampf II, [156](#).
 - über die Dichtigkeit und das Volumen des Wasserdampfes im Maximum der Spannkraft, von — 20° bis 100° C., s. Dampf II, [160](#).
 - über die Dichtigkeit und das Volumen des Wasserdampfes im Maximum der Spannkraft, von [1](#) bis 30 Atmosphären, s. Dampf II, [161](#).
 - über die Dichtigkeit und das Volumen des Wasserdampfes im Maximum der Spannkraft, von 100 bis [1000](#) Atmosphären, s. Dampf II, [162](#).
 - zur Erleichterung der Berechnung des specifischen Gewichtes des Dampfes, s. Dampf II, [171—176](#).
 - über die Dichtigkeit der Gase und Dämpfe, s. Dampf II, [184—199](#).
 - bei Ermittlung der Arbeitsgröße des Dampfes nach der Simpson'schen Regel, s. Dampfmaschine II, [271](#).
 - über die Spannkraft, Temperatur und Dichte des gesättigten Wasserdampfes, von [0,007](#) bis [1000](#) Atmosphären, s. Dampfmaschine II, [286](#) f.
 - über das relative Dampfvolumen (nach Babinet), s. Dampfmaschine II, [296](#).
 - über die Veränderungen des Druckes und der Temperatur des Wasserdampfes während seiner Wirkung in den Maschinen, s. Dampfmaschine II, [300](#).
 - über die theoretische mechanische Wirkung

des Dampfes, s. Dampfmaschine II, 308 f.

Tabelle, betreffend die Quantität der Totalarbeit, welche 1 Cubiccentimeter Wasserdampf unter dem Druck von 1 Atmosphäre bei verschiedener Expansion entwickelt, s. Dampfmaschine II, 307.

- über das Verhältniß der Arbeit des Dampfes mit und ohne Expansion, s. Dampfmaschine II, 309.
- über den Wirkungsgrad der Dampfmaschinen, s. Dampfmaschine II, 312 f.
- über die theoretische Quantität Arbeit der Dampfmaschinen für 1 Kilogr. Kohle, s. Dampfmaschine II, 313.
- über den erfahrungsmäßigen Nutzeffect der Dampfmaschinen für 1 Kilogr. Kohle, s. Dampfmaschine II, 316.
- über den Nutzeffect ausgeführter Dampfmaschinen, nach Messungen von Combes, Hülle, Morin, Poncellet, Brony u. A., s. Dampfmaschine II, 317 f.
- über den bei einer Dampfmaschine unter gewissen Verhältnissen stattfindenden Dampfverlust (in Kilogramm per Sekunde), s. Dampfmaschine II, 392 f.
- über die Beobachtungsergebnisse Wicksed's bezüglich der einfach wirkenden Cornwallsmaschinen, und Bambaour's Berechnung für das absolute Maximum des Nutzeffectes, s. Dampfmaschine II, 407.
- über alle wesentlichen Daten und Dimensionen für neu zu erbauende Dampfmaschinen, s. Dampfmaschine II, 421, 423—429. Tabelle bezüglich der Watt'schen Niederdruckmaschine 423, bezüglich der Mitteldruckmaschine mit Expansion und Condensation 424, bezüglich der Hochdruckmaschine ohne Condensation 425, bezüglich der Hochdruckmaschine mit Expansion 426. Hauptdimensionen der Dampfmaschinen, nach Redtenbacher's Methode der Verhältniszahlen 427.
- über Größe, Gewicht und Preise der Dampfkessel von Eisenblech, s. Dampfmaschine II, 428.
- über Preise der Dampfmaschinen für Werksstätten und Fabriken, s. Dampfmaschine II, 429.
- über die Dichte fester und tropfbarer Körper, s. Dichte II, 480—495.
- bezüglich der Diffusion der Gase ineinander, s. Diffusion II, 507.
- über einige Versuchsergebnisse Graham's bezüglich der Diffusion der Gase, s. Diffusion II, 508.
- über das Absorptionsvermögen des Gyps

für verschiedene Gase, s. Diffusion II, 510.

Tabelle über die Gasvolumina, welche aus einem Gefäße durch einen porösen Körper in die atmosphärische Luft entweichen, und über die dafür eingetretene Luftvolumina, s. Diffusion II, 511. Vergleich mit der Theorie ebenda 512.

- über die Diffusion der Flüssigkeiten gegen Flüssigkeiten, s. Diffusion II, 516 bis 522.
- über die in Füßen ausgedrückten Unterschiede des hohen und niedrigen Wasserstandes zur Zeit der Springfluthen in Häfen und an den Küsten, s. Ebbe und Fluth II, 573.
- zur Bestimmung der Fluthhöhe für irgend einen Tag an dem nämlichen Orte, wenn die mittlere Höhe der Springfluthen und niedrigen Fluthen durch Erfahrung bekannt ist, s. Ebbe und Fluth II, 581.
- der einfachen Stoffe, s. Einfache Körper oder Stoffe II, 597.
- der Refraktionsindices für die verschiedenen Farben des Spectrums, erhalten durch Versuche mit einem Glasprisma, s. Eis II, 603.
- zur Uebersicht des zu bewegenden Materials und der erforderlichen Bauten, welche die Anlegung einer doppelgleisigen Eisenbahn mit Holzschwellen per englische Meile ungefähr erfordert, s. Eisenbahn II, 678.
- über die Verlängerung von Metalldrähten durch spannende Kräfte, s. Elasticität II, 691.
- bezüglich der bleibenden Ausdehnung eines Eisendrahtes, s. Elasticität II, 693.
- über die Verlängerung eines Drahtes, in Millimetern der Gesamtlänge, und über die bleibende Verlängerung nach dem Versuch, s. Elasticität II, 694.
- über das Modulgewicht und die Modulhöhe verschiedener Materialien, s. Elasticität II, 709—711.
- über die Ausdehnung bei der Elasticitätsgrenze und über den Elasticitätsmodulus (in Preussischem Maß und Gewicht) nebst Tragmodulus, s. Elasticität II, 711.
- über das Gewicht, welches 1 Quadratzoll engl. trägt (ohne Ueberschreitung der Elasticitätsgrenze), sowie über die Ausdehnung bei der Elasticitätsgrenze in engl. Füßen, über das Modulgewicht in engl. Pfunden per 1 Quadratzoll englisch, und über die Modulhöhe in englischen Füßen, s. Elasticität II, 712.

Tabelle über den Quotienten $\frac{p^2}{\epsilon}$, wo p die absolute

festigkeit eines Materials und ϵ den Elasticitätsmodulus bezeichnet (nach Redtenbacher) s. Elasticität II, 714 bis 715.

- * zur elektrischen Drehwage, s. Elektrometer II, 840.
- * bezüglich der Abhängigkeit der Erdbeben von den Jahreszeiten, s. Erdbeben II, 860.
- * über das Verhältniß der verschiedenen Höhen zur Weite der Aussicht, s. Erde II, 870.
- * in Bezug auf Gradmessungen, s. Erde II, 884.
- * über die Dimensionen der Erde, s. Erde II, 892.
- * über die Größe der Parallelkreise und der Grade der Meridiane für die verschiedenen Breiten, s. Erde II, 893.
- * über die geographische Lage verschiedener Orte auf der Erde, s. Erde II, 894 bis 899.
- * über die Größe der verschiedenen Meilen, s. Erde II, 900.
- * über die Vertheilung des festen Landes auf die einzelnen Erdtheile, s. Erde II, 914.
- * über das Eindringen der Sonnenwärme in den Boden unter dem Aequator, s. Erde II, 915.
- * über die Zunahme der Bodentemperatur mit der Tiefe, s. Erde II, 916—921.
- * über die Temperatur des Genfersee an der Oberfläche und am Boden, s. Erde II, 921.
- * über die Temperatur des Genfersee in verschiedenen Tiefen (nach de la Beche), s. Erde II, 921.
- * über die Temperaturverhältnisse des Meeres, s. Erde II, 922—926.
- * über einige radiometrische Analysen, die Bunsen mit 10 an verschiedenen Tagen gesammelten Luftproben vorgenommen hat, s. Radiometer II, 939.
- * über einige endosmotische Versuche mit Zuckerslösungen (nach Bierordt), s. Osmose II, 949.
- * zur Berechnung der Gasvolumina, s. Expansion II, 952—955.
- * über die in gewissen Zeiten erlangten Endgeschwindigkeiten und zurückgelegten Wege frei fallender Körper, s. Fall der Körper III, 10.
- * über die Verhältnisse der Lichtintensitäten im Sonnenspectrum, s. Farbe III, 28 f.
- * über Mischfarben, s. Farbe III, 34.
- * über die Durchmesser farbiger Ringe, s.

Farbenringe Newton's III, 61.

- Tabelle über die Dicke der Luftschicht, von welcher der nämliche Farbenring unter verschiedenen Schiefen zurückgeworfen wird, s. Farbenringe Newton's III, 62.
- * über die Dicke eines Plättchens aus Luft, Wasser und Glas, in Milliontheilen eines engl. Zolles, für die reflectirten Strahlen nach der Ordnung, wie sie im vollen Lichte erscheinen, s. Farbenringe Newton's III, 64.
- * über die Dicken der Luftschicht, in welchen die verschiedenen Ringe anfangen und aufhören, ausgedrückt in Milliontheilen eines englischen Zolles, s. Farbenringe Newton's III, 67.
- * über die Wellenlängen der prismatischen Farben, s. Farbenringe Newton's III, 79.
- * über Newton's Spiegelteleskope, wie sie von Hawksbee ausgeführt worden sind, s. Fernrohr III, 110.
- * über Newton's Spiegelteleskope, wie sie von Short ausgeführt sind, s. Fernrohr III, 110.
- * über die Widerstände verschiedener Metalle beim Reiben, s. Festigkeit III, 123 f.
- * über die Widerstände einer großen Anzahl von Metalllegirungen, s. Festigkeit III, 124.
- * über die Festigkeit verschiedener Glasarten, s. Festigkeit III, 125.
- * über die Trag- und Festigkeitsmodule verschiedener im Bauwesen vorkommender Stoffe, s. Festigkeit III, 125.
- * über die aus Experimenten mit cylindrischen Röhren (bezüglich ihrer Festigkeit) erhaltenen Resultate, s. Festigkeit III, 133, mit elliptischen Röhren ebenda, mit rectangulären Röhren ebenda 134.
- * über die rückwirkende Festigkeit verschiedener Materialien, s. Festigkeit III, 137.
- * über Meteorstein-Analysen, s. Feuerkugel III, 171 f.
- * der Fixsterne, s. Fixsterne III, 224 f.
- * der neuerschienenen Sterne, s. Fixsterne III, 227 f.
- * über die Parallaxen verschiedener Sterne, s. Fixsterne III, 234.
- * über die Electricitätsmengen, welche zu bestimmten Schlagweiten einer Leydener Flasche gehören, s. Flasche, elektrische III, 255.
- * über den Einfluß der Luftart auf die elektrische Schlagweite, s. Flasche, elektrische III, 257.
- * bezüglich der Magnetisirung durch den

Schließungsbogen einer Leydener Flasche oder Batterie, s. Flasche, elektrische III, 266.

Tabelle über das Verhältniß des Gewichtes und der Schirmfläche beim Fluge der Vögel, s. Fliegen III, 280.

- der Substanzen, welche zu Modellen in der Galvanoplastik gebraucht werden können, s. Galvanoplastik III, 387.
- bezüglich des Verhältnisses des Druckes zur Dichte bei verschiedenen Gasen, s. Gas III, 418 f.
- über die Dichtigkeiten (verschiedener Gase), bei welchen das Maximum der Tension stattfindet, nebst den entsprechenden Drucken in Atmosphären, s. Gas III, 421.
- über den Ausdehnungscoefficienten verschiedener Gase, s. Gas III, 422.
- verschiedener englischer Kohlen rücksichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung, s. Gasbeleuchtung III, 431.
- über die gasförmigen Producte der Destillation von Kohlen, s. Gasbeleuchtung III, 433.
- über die Kohlenstoffmengen, welche als bildendes Gas beim Durchleiten durch ein bei verschiedenen Temperaturen glühendes Rohr in dem Gas liefert, das am Ende des Rohres austritt, s. Gasbeleuchtung III, 435.
- über Ausbeute an Gas, s. Gasbeleuchtung III, 436.
- über die Zusammensetzung des gereinigten Leuchtgases, s. Leuchtgas III, 441.
- über Leuchtgas aus Del und Thran, s. Gasbeleuchtung III, 442.
- über die Zusammensetzung des Leuchtgases aus möglichst harzfreiem Fichtenholz, s. Gasbeleuchtung III, 443.
- über Versuchsergebnisse (von Frankland) bezüglich des Leuchtgases, s. Gasbeleuchtung III, 452 f.
- von Frankland, welche die Gewichtsmengen der Kohle enthält, die jedesmal nöthig sind, um nach dem älteren und dem neueren (White'schen) Proceß das Licht von 1000 Wallrathkerzen, von denen jede 10 Stunden mit 120 Grains pro Stunde brennt, zu produciren, s. Gasbeleuchtung III, 454.
- über die Menge der aus 100 Cubiffuß Leuchtgas bei 0° condensirten Kohlenwasserstoffe, s. Gasbeleuchtung III, 455.
- über die Kosten der verschiedenen Beleuchtungsmethoden, s. Gasbeleuchtung III, 472.
- über die bei einer Bohrarbeit (bis zu

einer Tiefe von 1190 Fuß) vom Tage niedergesunkenen Gesteinschichten, s. Geologie III, 510.

Tabelle über die Größe verschiedener Gewichte, verglichen mit dem Grammgewicht, s. Gewicht III, 542.

- zur Reduction der Abwägungen, s. Gewicht III, 546.
- über die Mengen absoluten Alkohols, die man mit Wasser bei 15° C. mischen muß, um 100 Maß wässerigen Weingeist zu erhalten, s. Gewicht III, 553 f.
- über das specifische Gewicht verschiedener Mischungen von Essigsäurehydrat mit Wasser, s. Gewicht III, 556.
- über die Aenderungen der Dichtigkeit, welche feste Körper durch einen äußeren Druck erfahren, s. Gewicht III, 557.
- für die Dichtigkeit des Wasser von 40° F. bis 85° F. (von Alexander), s. Gewicht III, 559.
- über die Vertheilung der Gewitter auf die verschiedenen Jahreszeiten, s. Gewitter III, 561 f.
- über die Verreißten des Quecksilbers in Haarröhrchen, s. Haarröhrchenwirkung III, 663.
- über eine Constante, die bei der Haarröhrchenwirkung in Betracht kommt, s. Haarröhrchenwirkung III, 663 bis 668.
- bezüglich der Haarröhrchenwirkung verschiedener Flüssigkeiten, s. Haarröhrchenwirkung III, 668.
- in Rücksicht der Haarröhrchenwirkung beim Quecksilber und Wasser, s. Haarröhrchenwirkung III, 671 f.
- über die Anzahl der Hagelschauer in verschiedenen Ländern, s. Hagel III, 679.
- über den Wassergehalt frisch gefällter Hölzer, s. Heizung III, 720.
- über die Zahlenverhältnisse für die Gewichte und leeren Zwischenräume des aufgelasteten Holzes, s. Heizung III, 728.
- über den relativen Werth verschiedener Brennholzer und Kohlen, s. Heizung III, 730.
- über das Heizvermögen von einem Gewichtstheile verschiedener Hölzer (nach Péclot), s. Heizung III, 731.
- über das Heizvermögen verschiedener Holzkohlen, s. Heizung III, 733.
- über die chem. Analyse einiger Zwickauer Steinkohlen, s. Heizung III, 736.
- über die Analyse von Braunkohlen, s. Heizung III, 736.
- über die Heizkraft verschiedener Stoffe, s. Heizung III, 737.

Tabelle über das Volumen des erzeugten Gases und Dampfes und über die Temperatur des Rauchs beim Verbrennen verschiedener Materialien, s. Heizung III, [781](#).

- über den Wärmeverlust durch einen Schornstein, dessen Herd mit Steinkohlen geheizt wird, s. Heizung III, [781](#).
- über das Verhältniß der scheinbaren Höhen oder Entfernungen vom Horizont bis zum Zenith, s. Himmel III, [795](#).
- zur Erleichterung der Rechnung bei barometrischen Höhenmessungen, s. Höhenmessung, barometrische III, [815](#) bis [819](#), [820](#)—[822](#).
- zur Erleichterung der thermometrischen Höhenmessung: dieselbe giebt zwischen 85° und 100° für jeden Zehntelgrad die den beobachteten Siedepunkten des Wassers entsprechenden Barometerstände, reducirt auf 0° , s. Barometermessung, thermometrische III, [829](#) f.
- über die Halbmesser der rothen Ringe bei Höfen und über die Durchmesser der Dunkelfläschen, s. Hof III, [865](#).
- zur Herleitung des Dampfgehaltes der Atmosphäre aus den Beobachtungen des Psychrometers, wenn die Temperatur des nassen Thermometers größer als 0 ist, s. Hygrometer III, [900](#).
- zur Herleitung des Dampfgehaltes der Atmosphäre aus den Beobachtungen des Psychrometers, wenn die Kugel des nassen Thermometers mit Eis überzogen ist, s. Hygrometer III, [901](#).
- zur Reduction der Angaben des Saussur'schen Hygrometers auf das Fischeimshygrometer, s. Hygrometer III, [911](#).
- über Lichtstärken, für welche das Wachsen des Unterschiedes in den Wegen der Randstrahlen (bei der Beugung des Lichtes) immer eine halbe Wellenlänge beträgt, s. Inflection des Lichtes IV, [81](#).
- gleich krystallisirender Körper, s. Isomorphismus IV, [143](#) f.
- über den Stand des Thermometers für Petersburg von Stunde zu Stunde, s. Isothermen IV, [152](#).
- über den mittleren Gang der täglichen Wärme zu Padua, s. Isothermen IV, [153](#).
- über den mittleren Gang der täglichen Wärme im Fort Leith, s. Isothermen IV, [154](#).
- über die mittlere Temperatur des Jahres, des October, April und aus April und October, s. Isothermen IV, [157](#).
- zur Vergleichung der wahren Mitteltemperatur und derer, die sich aus den

Beobachtungen um 2 Uhr Morgens für das Pariser Observatorium im Jahre 1829 ergaben, s. Isothermen IV, [158](#).

Tabelle bezüglich der Verbesserungen, welche an Temperaturbeobachtungen, die nur kurze Zeiträume umfassen, anzubringen sind, s. Isothermen IV, [159](#) f.

- über die Abnahme der mittleren Jahrestemperaturen gegen den Nordpol hin, s. Isothermen IV, [163](#).
- über die mittleren Temperaturen des Sommers und Winters für Gegenden, welche dasselbe Jahresmittel haben, s. Isothermen IV, [167](#).
- über die mittleren Monatstemperaturen dreier Orte, welche als Repräsentanten der heißen, gemäßigten und kalten Zonen betrachtet werden können, s. Isothermen IV, [169](#).
- über Kältemischungen, s. Kältemischung IV, [177](#) f., [179](#) f.
- der Sonntagsbuchstaben, s. Kalender IV, [189](#).
- der Klimate, s. Klima IV, [262](#).
- der Pflanzenregionen, s. Klima IV, [279](#).
- über das Absorptionsvermögen frisch ausgeglühter Buchsbaumkohle für verschiedene Gase, s. Kohlenstoff IV, [295](#).
- über die Wärmemengen, welche durch die Absorption von Gasen durch Kohle frei werden, s. Kohlenstoff IV, [296](#).
- über die Absorption von Wasserdampf durch verschiedene Kohlenarten, s. Kohlenstoff IV, [296](#).
- über das Entfärbungsvermögen verschiedenen bereiteter thierischer Kohlen, s. Kohlenstoff IV, [297](#).
- über die Anzahl Kometen, die in Europa und China beobachtet sind, s. Kometen IV, [324](#).
- über die Dimensionen der Bahn des Gallen'schen Kometen, s. Kometen IV, [336](#).
- über die Umlaufzeit u. verschiedener Kometen, s. Kometen IV, [336](#).
- über die Elemente von 6 (fog. inneren) Kometen, s. Kometen IV, [337](#).
- über die Umlaufperiode verschiedener Kometen, s. Kometen IV, [338](#).
- über die Elemente des Enke'schen Kometen, s. Kometen IV, [340](#).
- über Analysen verschiedener Kupferarten, s. Kupfer IV, [390](#).
- über Analysen des Messings, s. Kupfer IV, [401](#).
- über Kupferlegierungen, s. Kupfer IV, [402](#)—[405](#).
- über das Leitungsvermögen der Metalle

nach den Versuchen von Becquerel und Pouillet, s. Leiter der Elektricität IV, 426.

Tabelle über das Leitungsvermögen der Metalle bei gewöhnlicher Temperatur nach Rieß, s. Leiter der Elektricität IV, 427.

* über das elektr. Leitungsvermögen der Metalle bei verschiedenen Temperaturen nach Zenz, s. Leiter der Elektricität IV, 430.

* über das Leitungsvermögen von Metalldrähten im gehärteten und ausgeglühten Zustande, s. Leiter der Elektricität IV, 433.

* über die Zunahme des elektr. Leitungswiderstandes der Metalle mit der Temperatur, s. Leiter der Elektricität IV, 434 ff.

* über die Coefficienten der Zunahme des elektr. Leitungswiderstandes der Metalle für eine Temperaturerhöhung von 1° von 0° aus, s. Leiter der Elektricität IV, 433.

* über das elektr. Leitungsvermögen der Metalle bei 100° C. gegen das des Silbers bei 0°, nach Becquerel, s. Leiter der Elektricität IV, 436.

* über den elektr. Leitungswiderstand eines Eisendrahtes, s. Leiter der Elektricität IV, 437, eines Zinkdrahtes, ebenda 438, des Quecksilbers ebenda 438 f.

* bezüglich eines Vergleiches der Wärmecapacität der Metalle mit deren elektr. Leitungswiderstände, s. Leiter der Elektricität IV, 439.

* über den elektr. Leitungswiderstand tropfbarer Flüssigkeiten nach Horsford, s. Leiter der Elektricität IV, 445.

* über das elektr. Leitungsvermögen der Flüssigkeiten (nach Becquerel), s. Leiter der Elektricität IV, 448.

* über die Zunahme des elektr. Leitungsvermögens einiger Flüssigkeiten mit wachsender Temperatur, s. Leiter der Elektricität IV, 449.

* über den elektr. Leitungswiderstand der Flüssigkeiten bei verschiedenen Temperaturen (nach Hankel), s. Leiter der Elektricität IV, 451 f.

* über Beobachtungsergebnisse hinsichtlich der Blasenlänge einer Libelle bei verschiedenen Temperaturen, s. Libelle IV, 467.

* der Preise für Aetherlibellen, s. Libelle IV, 471.

* über Stoffe, die sich zu achromatischen Apparaten verwenden lassen, s. Linsenglas IV, 570 f.

* über die Dimensionen der Haupttheile eini-

ger wirklich ausgeführter Locomotiven, s. Locomotive IV, 618.

Tabelle über das Verhalten der Metalloryde zu Borax und Phosphorsalz, s. Löthrohr IV, 667.

* über die Steigkraft eines mit Wasserstoff oder Steinkohlengas gefüllten Ballons von Wachstaffet, s. Luftball IV, 679.

* über die täglichen Spannungen der Luftelektricität in den verschiedenen Monaten (nach Lamont), s. Luftelektricität IV, 694.

* über Dellmann's Beobachtungen der Luftelektricität, s. Luftelektricität IV, 695.

* über die Preise und Tragkraft der von Logeman verfertigten Magnete, s. Magnetismus IV, 756.

* magnetischer Ablenkungsversuche (nach Gauss), s. Magnetismus IV, 767 und 768.

* über die Intensitäten des Magnetismus verschiedener Substanzen, sowohl für sich, als auch in chemischer Verbindung mit anderen (nach Plücker), s. Magnetismus IV, 788.

* über die diamagnetische Abstoßung verschiedener Substanzen (nach Plücker), s. Magnetismus IV, 791.

* der magnetischen Constanten, reducirt auf das Jahr 1850, s. Magnetismus der Erde IV, 829 ff.

* über die magnetische Declination zu Brüssel, s. Magnetismus der Erde IV, 832.

* über die magnet. Declination zu Paris (in den letzten Jahren), s. Magnetismus der Erde IV, 832.

* über die tägliche Bewegung der Horizontal-Intensität des Erdmagnetismus, in Zehntausentstel der Horizontal-Intensität zu München, s. Magnetismus der Erde IV, 833—835.

* der wichtigsten älteren Maße und Gewichte, s. Maß IV, 894 ff.

* der bestehenden Maßeintheilungen, s. Maß IV, 901—906.

* zur Vergleichung der Fußmaße (mit beigefügten Logarithmen), s. Maß IV, 907.

* zur Vergleichung der Quadratuße, s. Maß IV, 908.

* zur Vergleichung der Kubikuße, s. Maß IV, 909.

* der Meilenmaße, s. Maß IV, 910; der besonderen Flächenmaße ebenda; der Fruchtmaße ebenda; der Flüssigkeitsmaße, ebenda.

* zur Vergleichung der Gewichtseinheiten

(mit beigelegten Logarithmen), f. *Maß* IV, 911.

Tabelle über den Salzgehalt des Meerwassers (auf dem Wege von Suez bis zur Straße Bab-el-Mandeb), f. *Meer* IV, 990.

- * über den Salz- und Luftgehalt u. des Meerwassers in verschiedenen Tiefen, f. *Meer* IV, 991.
- * über den Salzgehalt und das specif. Gewicht des Meerwassers unter verschiedenen Längen- und Breitengraden, f. *Meer* IV, 991.
- * über das specifische Gewicht des Meerwassers unter verschiedenen Längen- und Breitengraden (nach Mulder), f. *Meer* IV, 992.
- * über die festen Bestandtheile des Meerwassers, f. *Meer* IV, 992 f.
- * der Metalle u. Metalloide, f. *Metalle* IV, 1023.
- * künstlich bereiteter Mineralwasser (Berliner Trinkanstalt), f. *Mineralwasser*, künstliche IV, 1079.
- * der wirklichen Längen des tropischen Jahres in verschiedenen Zeiträumen, f. *Nachtgleichen* V, 6.
- * zur Ermittlung des Gehaltes einer Natronlauge an Natronhydrat aus dem specifischen Gewichte, f. *Natrium* V, 9.
- * über den Kochsalzgehalt verschiedener Salzquellen, f. *Natrium* V, 18.
- * über die Bestandtheile verschiedener Sorten Viehsalzes, f. *Natrium* V, 19 f.
- * über die Analysen einiger Mutterlaugen, f. *Natrium* V, 20.
- * über einige Analysen von Kochsalz, f. *Natrium* V, 21.
- * über den Kochsalzgehalt des Meerwassers an verschiedenen Orten, f. *Natrium* V, 21.
- * über die Analyse von Seesalz, f. *Natrium* V, 22.
- * über einige Analysen von Steinsalz, f. *Natrium* V, 23.
- * über die Anzahl der Nebeltage in einem Jahre, f. *Nebel* V, 40.
- * über die merkwürdigsten Punkte des magnetischen Aequators, f. *Neigung der Magnetnadel* V, 47.
- * über eine Anzahl in diesem Jahrhundert in der Nähe des magnetischen Aequators angestellter Beobachtungen der Inklination, f. *Neigung der Magnetnadel* V, 47—49.
- * über Beobachtungen der magnetischen Neigung von Paris, Berlin und Göttingen, f. *Neigung der Magnetnadel* V, 51.
- * über die jährliche Veränderung der magnes-

tischen Inklination, f. *Neigung der Magnetnadel* V, 52.

Tabelle über Beobachtungen, ausgeführt mit W. Weber's Inductions-Inklinatorium, f. *Neigung der Magnetnadel* V, 60.

- * über magnetische Inklinationsänderungen während eines ganzen Tages, f. *Neigung der Magnetnadel* V, 61.
- * über magn. Inklinationsveränderungen während ganzer Monate, f. *Neigung der Magnetnadel* V, 62.
- * über die tägliche Bewegung der Inklination zu München, in Minuten ausgedrückt (nach Lamont), f. *Neigung der Magnetnadel* V, 63 f.
- * über die Analyse einiger Nickelforten, f. *Nickel* V, 68.
- * über einige Nickellegirungen, f. *Nickel* V, 71.
- * zur Vergleichung der Paraffinkerzen mit Kerzen von verschiedenen anderen Materialien in Rücksicht der Leuchtkraft, f. *Paraffin* V, 127, 128, 129.
- * über die Länge des einfachen Secundenpendels an verschiedenen Orten, f. *Pendel* V, 181 f.
- * über den vergleichenden Gang eines Ledlie'schen Photometers und eines Fahrenheit'schen Thermometers während einer Sonnenfinsterniß in Edinburgh, f. *Photometer* V, 281.
- * über die Lichtstärke verschiedener farbiger Gläser, f. *Photometer* V, 288 f.
- * über die mittlere Helligkeit des Mondes in seinen verschiedenen Phasen, f. *Photometer* V, 304.
- * über die mittlere Helligkeit der Planeten, f. *Photometer* V, 304.
- * über das Verhältniß des von Glas tafeln zurückgeworfenen, gebrochenen und verlorene Lichtes, f. *Photometer* V, 305.
- * über die Quantitäten Lichts, welche von der Oberfläche des Wassers unter verschiedenen Schiefen zurückgeworfen werden, f. *Photometer* V, 305.
- * über die Quantitäten Lichts, welche von der ersten Oberfläche des zur Verfertigung von Spiegeln dienenden Glases zurückgeworfen werden, f. *Photometer* V, 305.
- * über die Quantitäten Lichts, welche von polirtem schwarzem Marmor zurückgeworfen werden, f. *Photometer* V, 306.
- * über das Preisverhältniß von Gas, Oel und Talg bei gleicher Helligkeit verschiedener Gasbrenner, f. *Photometer* V, 309.

Tabelle über die Leuchtkraft des Coburger Holzgas, s. Photometer V, 310.

- rücksichtlich der scheinbaren Bewegung der Planeten, s. Planeten V, 323.
- über die Elemente der Planeten, s. Planeten V, 340.
- der Planetoiden, s. Planeten V, 345.
- über die Umlaufzeiten, Distanzen, Größen, Geschwindigkeiten etc. der Planeten, s. Planeten V, 348 f.
- über die Verhältnisse der Jupitermonde, s. Planeten V, 361.
- über die Verhältnisse der Uranusmonde, s. Planeten V, 361.
- über die Resultate der Messung eines Kreisfesses mittelst eines Planimeters, s. Planimeter V, 373.
- über die Analyse verschiedener Platinerze, s. Platin V, 382.
- über den Winkel der vollständigen Polarisation für verschiedene Substanzen, s. Polarisation des Lichtes V, 403.
- über die Drehung der Polarisationsebene der verschiedenen Farbestrahlen, s. Polarisation des Lichtes V, 418.
- der Körper mit sog. positiver und negativer Reflexion, s. Polarisation des Lichtes V, 423 f.
- bezüglich der durch Reflexion polarisirten Wärmestrahlen, s. Polarisation der Wärme V, 460.
- bezüglich der durch Brechung polarisirten Wärmestrahlen, s. Polarisation der Wärme V, 461, 462, 463.
- bezüglich der durch Doppelbrechung polarisirten Wärmestrahlen, s. Polarisation der Wärme V, 461 f.
- bezüglich der circular polarisirten Wärmestrahlen, s. Polarisation der Wärme V, 467.
- der Schmelzpunkte verschiedener Metalle nach Wegwood, s. Pyrometer V, 518.
- über die Temperaturen der verschiedenen Farben beim Glühen s. Pyrometer V, 523.
- bei dem Gebrauche des magnetischen Pyrometers, s. Pyrometer V, 526.
- der Schmelztemperaturen verschiedener Metalle (bestimmt durch das magnetische Pyrometer), s. Pyrometer V, 527.
- der Reagentien zur Unterscheidung der Quecksilberoxyde von den Quecksilberoxydsulfaten, s. Quecksilber V, 537.
- über die Temperatur der Quellen, s. Quelle V, 557—559.
- über die Temperaturen einiger warmen Quellen, s. Quelle V, 560.
- über die Regenverhältnisse Italiens, s. Regen V, 591—594.

Tabelle über die Regenverhältnisse des südlichen Frankreichs, s. Regen V, 595—596.

- über die Regenverhältnisse von Paris, s. Regen V, 597.
- über die Regen in England und Irland, s. Regen V, 597—600.
- über die Regenmengen, welche auf jeden einzelnen der 8 Hauptwinde kommen (für Deutschland), s. Regen V, 607.
- über die einem jeden der 8 Hauptwinde zugehörigen Regenmengen und darüber, wie oft ein gewisser Wind wehen muß, um einmal Regen zu bringen, s. Regen V, 608.
- über die Anzahl der Regentage und Regenmenge zu Havanna, s. Regen V, 609.
- über die Regenmengen in Paris (Eternswarte), s. Regenmesser V, 623.
- der Reibungscoefficienten (für gleitende Reibung), s. Reibung V, 631; für Zapfenreibung ebenda 632.
- über die Wanddicke der Wasserleitungsröhren aus verschiedenem Material, s. Röhrenleitung V, 642.
- über verschiedene sog. gepaarte Säuren, s. Säuren V, 675.
- über die Siedepunkte verschiedener Salzlösungen, s. Salze V, 688.
- über die Geschwindigkeit des Schalles in verschiedenen Gasen, s. Schall V, 704.
- über die Geschwindigkeit des Schalles in verschiedenen tropfbaren Flüssigkeiten, s. Schall V, 706.
- über die Geschwindigkeit des Schalles in festen Körpern, s. Schall V, 708.
- über die Schmelzpunkte verschiedener Körper, s. Schmelzen V, 735 f.
- über die Schmelzpunkte verschiedener Legierungen, s. Schmelzen V, 737.
- über die Höhe der Schneegrenze, s. Schneegrenze V, 752.
- über das Verhältniß zwischen den Graden des Baumé'schen Aräometers und dem specifischen Gewichte der käuflichen Schwefelsäure, nebst ihrem Gehalt an Schwefelsäurehydrat und wasserfreier Schwefelsäure, s. Schwefel V, 778.
- über die Dauer des Lichteindrucks, s. Sehen V, 840—843.
- über die Siedepunkte des Wassers in verschiedenen Höhen, s. Sieden V, 862.
- der theoretischen und beobachteten Siedepunkte gewisser organischer Verbindungen, s. Sieden V, 866—873.
- über die Dimensionen des menschlichen Auges, s. Sinne V, 918.
- bezüglich des Sinuselektrometers, s. Sinuselektrometer VI, 7, 11.

- Tabelle über die Sonnenflecken, f. Sonne VI, [16](#).
- zur Construction von Sonnenuhren, f. Sonnenuhren VI, [31](#).
 - der galvanischen Spannungsreihen, f. Spannungsreihe, galvanische VI, [37](#).
 - über die alten Namen und neueren Bezeichnungen der Sterne, f. Fixsterne VI, [114](#).
 - von Ure, welche angibt, wie viel wasserfreie Säure die Salpetersäure des Handels bei dem gefundenen specifischen Gewichte enthält, f. Stickstoff VI, [129](#).
 - über die mittlere Strahlenbrechung für verschiedene Zenithdistanzen, f. Strahlenbrechung, terrestrische VI, [146](#).
 - der Stromgebiete der größeren Flüsse, f. Ströme VI, [160](#).
 - über die Geschwindigkeit der Mittheilung bezüglich der optischen Telegraphen, f. Telegraphie VI, [226](#).
 - der thermoelektrischen Spannungsreihen, f. Thermoelektricität VI, [281](#).
 - zur Vergleichung der Grade des Quecksilberthermometers mit dem des Weingeistthermometers, f. Thermometer VI, [312](#).
 - zur Reduction der Angaben des Weingeistthermometers, f. Thermometer VI, [312](#) f.
 - zur Reduction der verschiedenen Thermometergrade, f. Thermometer VI, [318](#) bis [322](#).
 - zur Correction der Thermometer, f. Thermometer VI, [323](#) ff.
 - zur Reduction hoher Thermometergrade, f. Thermometer VI, [332](#).
 - der Schwingungszahlen und Saitenlängen für die gleichschwebende chromatische Tonleiter, f. Ton VI, [389](#).
 - über die Wärmemengen, welche sich bei der Verbindung verschiedener Stoffe mit Sauerstoff entwickeln, f. Verbrennung VI, [473](#).
 - über die Lichtstärke verschiedener Theile einer Gasflamme, f. Verbrennung VI, [481](#).
 - bezüglich der Verdichtung der Gase, f. VI, [484](#)—[486](#).
 - bezüglich der Resultate von Richter's chemischen Untersuchungen, f. Verwandtschaft, chemische VI, [532](#).
 - bezüglich des Aequivalenzverhältnisses verschiedener Säuren und Basen, f. Verwandtschaft, chemische VI, [533](#).
 - der Aequivalentzahlen oder Aequivalentgewichte (Mischungsgewichte) der chemis-

chen Elemente, f. Verwandtschaft, chemische VI, [538](#).

- Tabelle über den Wasserverlust einiger Salze, f. Verwitterung VI, [581](#).
- zur Veranschaulichung der Beziehung zwischen dem specifischen Gewicht und dem Atomgewicht, f. Volumtheorie VI, [587](#).
 - der Atomvolumen einfacher Gase, f. Volumtheorie VI, [588](#); Atomvolumen zusammengesetzter Gase ebenda.
 - der Atomvolumen fester und flüssiger Elemente (nach Kopp), f. Volumtheorie VI, [589](#).
 - bezüglich der Gruppierung der chemischen Elemente nach ihrem Atomvolumen, f. Volumtheorie VI, [591](#) f.
 - verschiedener Flüssigkeiten, bei welchen einer gleichen Differenz in der chemischen Zusammensetzung eine gleiche Differenz der Atomvolumen entspricht, f. Volumtheorie VI, [593](#).
 - einer Anzahl Verbindungen mit der Zusammensetzungsformel xCH_2 und deren Atomvolumen, f. Volumtheorie VI, [596](#).
 - über die Zahl der Vulkane auf der Erde, f. Vulkan VI, [608](#).
 - in Rücksicht der Kräfte, welche den Ausschlägen der Magnetnadel im Thermomultiplikator entsprechen, f. Wärme VI, [620](#) f.
 - von Melloni bezüglich seiner Versuche über strahlende Wärme, f. Wärme VI, [621](#) bis [623](#).
 - über den Durchgang der Wärmestrahlen durch verschiedene Substanzen, f. Wärme VI, [624](#)—[632](#).
 - über das Wärmeabsorptionsvermögen verschiedener Körper, f. Wärme VI, [637](#).
 - bezüglich der Abhängigkeit der Erwärmung eines Körpers von der Temperatur der Wärmequelle, f. Wärme VI, [638](#).
 - über das Wärmereflektionsvermögen der Metalle, f. Wärme VI, [640](#).
 - bezüglich des Reflexions- und Emissionsvermögens des Glases, f. Wärme VI, [653](#).
 - über die Wärmeleitungsfähigkeiten der Metalle, f. Wärme VI, [671](#)—[672](#).
 - über die Wärmeleitungsfähigkeit verschiedener Gesteine, f. Wärme VI, [674](#) f.
 - über die Wärmeleitungsfähigkeit der Hölzer, f. Wärme VI, [676](#).
 - über die specifische Wärme verschiedener Körper, f. Wärme VI, [691](#).
 - über die specifische Wärme der einfachen Gase, f. Wärme VI, [694](#); über die specif. Wärme und Dichtigkeiten der zu-

sammengesetzten Gase u. Dämpfe, ebenda 695.

Tabelle bezüglich der specif. Wärme und Atomgewichte verschiedener einfacher Stoffe, f. Wärme VI, 698.

= über die specifischen Wärmen verschiedener Substanzen im starren und flüssigen Zustande, nebst den latenten Wärmen, f. Wärme VI, 703.

= über die Wärmemengen, welche bei der Verbindung verschiedener Substanzen mit Sauerstoff und Chlor entwickelt werden, f. Wärme VI, 731.

= bezüglich der Wärmeentwicklung beim Austausch von Metallen in Verbindungen, f. Wärme VI, 733.

= über die Beobachtungen J. Davy's rücksichtlich der thierischen Wärme, f. Wärme VI, 737.

= bezüglich der Wärmewirkung der Inductionsfunken, f. Wärme VI, 746.

= über die Resultate verschiedener Analysen von Fluß-, Quell- und Brunnenwasser, f. Wasserstoff VI, 828—830.

= über das Absorptionsvermögen des Alkohols für Gase, f. Weingeist VI, 862.

= der Alkohole, f. Weingeist VI, 806 f.

= der Schallgeschwindigkeiten in Flüssigkeiten (nach Wertheim), f. Wellenbewegung VI, 937.

= der Schallgeschwindigkeiten in verschiedenen Substanzen (nach Masson), f. Wellenbewegung VI, 937.

= über die Grenzen der Region der Windstillen, f. Winde VI, 969, 971.

= über die inneren Grenzen der Passate, f. Winde VI, 970.

= über den Gang des Barometers während eines Sturmes, f. Winde VI, 986.

= über die Temperaturabnahmen innerhalb der Atmosphäre mit wachsender Höhe (bei Gelegenheit einer Luftfahrt beobachtet), f. Wolken VI, 1029.

= über die Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten, f. Zusammendrückbarkeit tropfbar flüssiger Körper VI, 1115.

= über die Zusammendrückbarkeit des luftfreien destillirten Wassers bei verschiedenen Temperaturen, f. Zusammendrückbarkeit tropfbar flüssiger Körper VI, 1117.

= über die Zusammendrückbarkeit verschiedener Lösungen, f. Zusammendrückbarkeit tropfbar flüssiger Körper VI, 1117.

Tachometer, f. Ströme VI, 187.

Tachopyrion, f. Feuerzeug III, 183.

Tägliche Parallaxe, f. Parallaxe V, 132.

Täuschungen, optische, f. Sehen V, 829 f., Sinne V, 927, 933, 939. Himmel III, 794 f., Strahlenbrechung VI, 146.

Tafel, f. Tabelle (im Reg.).

Tafel, elektrische (Franklin'sche) VI, 207. Ladungserscheinungen 208.

Tafeln, Alphoninische, f. Astronomie I, 376.

Taffet an Elektrifizirmaschinen, f. Elektrifizirmaschine II, 768.

Tag und Nacht VI, 209. Astronomischer und bürgerlicher Tag; Einteilung und Länge 209. Nacht 209 f. Länge der Nacht 210.

Tagblindheit, f. Sinne V, 938.

Tagbogen, f. Tag und Nacht VI, 211.

Tagkreise, f. Tag und Nacht VI, 211.

Tageslängen, f. Tag und Nacht VI, 209 f.

Tagiechen, f. Sinne V, 938.

Tag- und Nachtgleichen, f. Nachtgleichen V, 1.

Talcium, f. Magnium IV, 865.

Talg, f. Fette III, 139. Verseifung VI, 518. Ueber das Leuchten des Talges beim Zerschlagen, f. Licht IV, 483 (Anmerkung).

Talkerde, f. Magnium IV, 866.

Tangentenbouffole, f. Multiplikator IV, 1133.

Tangentialkraft, f. Bewegung I, 830.

Tantal VI, 211. Vorkommen und Darstellung 211 f. Verbindungen des Tantals mit dem Sauerstoff 212.

Tantalige Säure, f. Tantal VI, 212.

Tantalit, f. Tantal VI, 211.

Tantaloryd, f. Tantal VI, 212.

Tantalsäure, f. Tantal VI, 212.

Tantalus, künstlicher, f. Heber III, 719.

Tapete, f. Licht IV, 813.

Tastinn, f. Sinne V, 905 f.

Taube Gluthen, f. Ebbe u. Fluth II, 374.

Taucherglocke VI, 212. Princip 212 f.

Taucherglocke Halley's 213 f., Triewald's 214 und Smeaton's 214.

Teinofskop, f. Fernrohr III, 116.

Telegraphie VI, 214. Arten der Telegraphen; telegraphische Schriftsprache 215 ff. Akustische Signalkunst und Telegraphie 217.

Jobard's Logophor; Arnold's telegraphisches Communicationsmittel 218. Eudre's Telephonium; Colladen's Telegraph unter Wasser 219. Ueber optische Signalkunst und Telegraphie 220—227. Sharpe's Telegraph 222 f.

Scheibentelegraph des Grafen Goës; Robinson's Telegraph; Treutler's Tag- und Nachttelegraph 224 f. Würdigung der optischen Telegraphen 225 f. Ueber pneumatische und hydrostatische Telegraphie 226 f. Elektrische Telegraphie 227 f. Die metallische Leitung von einer Station zur anderen; oberirdische Lei-

tung [229](#) f.; unterirdische Leitung [231](#) ff.
 Ueber das Material der Leitungsdrähte [233](#) f. Unterseeische Leitung [234](#) f. Ueber die Anzahl der Leitungsdrähte [237](#). Ueber Zeichenapparate im Allgemeinen [239](#). Ueber Telegraphie mittelst der Reibungselektricität [238](#) f. Winter's elektrischer Telegraph [240](#). Sömmering's elektrischer Telegraph [240](#) f. Ampère's Telegraph [241](#). Morse's elektrischer Telegraph [241](#)—[246](#). Reislais [244](#). Translator [244](#) f. Gauss' elektr. Telegraph [246](#) f. Wheatstone's und Cooke's Telegraph [247](#). Steinheil's elektr. Telegraph [247](#) f. Telegraph nach dem Vorschlage Vorseman de Heer's [249](#). Quelet's telegraphischer Apparat [249](#) f. Bain's elektr. Drucktelegraph [250](#). Bain's elektr. Zeichentelegraph [251](#) f. Gardely's Telegraph [253](#). Smith's Zeichengeber [253](#) f. Commutator, Tastbrett, Morse'scher Schlüssel und Lärmapparat [256](#)—[259](#). Elektrische Uhren [259](#) (s. auch Strom, elektrischer VI, [199](#)). Das Gegensprechen oder die Doppelcorrespondenz [259](#) ff. Würdigung der elektrischen Telegraphen [262](#).
 Teleskop, s. Fernrohr III, [96](#).
 Zeller der Luftpumpe, s. Luftpumpe IV, [713](#).
 Tellur VI, [263](#). Vorkommen und Darstellung [263](#) f. Verbindungen des Tellur mit dem Sauerstoff [263](#), mit Wasserstoff und Chlor [266](#).
 Tellurchlorid, s. Tellur VI, [266](#).
 Telluroryd (tellurichte Säure), s. Tellur VI, [265](#).
 Tellursäure, s. Tellur VI, [265](#).
 Tellurwasserstoff VI, [266](#).
 Temperatur VI, [267](#). Wärme VI, [613](#).
 Temperatur der Erdoberfläche, s. Isothermen IV, [149](#) ff., Klima IV, [261](#) ff.
 Temperatur der Atmosphäre ebenda. Abnahme der Temperatur der Atmosphäre mit wachsender Höhe s. Isothermen IV, [161](#), Atmosphäre I, [480](#) und Wolken VI, [1028](#) f. Temperatur der Erdrinde und des Meeres, s. Erde II, [914](#) ff. Temperatur der Quellen, s. Quelle V, [566](#) ff., [560](#) f. Temperatur der Thiere u. Pflanzen s. Wärme VI, [737](#) f., [733](#) ff. — Einfluß der Temperatur auf das Absorptionsvermögen, s. Absorption I, [32](#) ff.; Einfluß der Temperatur auf die Adhäsion, s. Adhäsion I, [116](#). Einfluß der Temperatur auf die Art der Elektricität durch Reibung, s. Elektricität II, [746](#). Einfluß der Temperatur auf das elektr. Leitungsvermögen der Körper, s. Leiter der Elektricität IV, [426](#)—[440](#), [446](#)—[453](#). — Einfluß der Winde auf die Temperatur der Luft, s. Winde VI, [996](#).

Temperaturhöhlen, s. Höhlen III, [842](#).
 Tenakel, s. Filtriren III, [200](#).
 Terrassenländer, s. Berg I, [766](#).
 Terpentin, s. Harze III, [698](#).
 Terz, s. Ton VI, [384](#).
 Tesseralsystem, s. Krystall IV, [362](#).
 Tetraeder, s. Krystall IV, [371](#).
 Tetragonales System, s. Krystall IV, [362](#).
 Tetraäther, s. Krystall IV, [363](#), [365](#).
 Tetrametaphosphorsäure, s. Phosphor V, [226](#).
 Tetrametrische Krystalle, s. Krystall IV, [362](#).
 Tetrathionsäure, s. Schwefel V, [763](#).
 Thäler, s. Berg I, [763](#).
 Thau VI, [267](#). Theorie von Wells [267](#) f. Bedingungen eines reichlichen Thaues [269](#). Stärke des Thaues an verschiedenen Orten der Erde [270](#). Prüfung der Wells'schen Thautheorie durch Melloni [270](#) f.
 Thaumatrope, s. Sehen V, [848](#).
 Thaumeter, s. Drosometer II, [531](#).
 Thaupunkt, s. Eis II, [600](#), Atmosphäre I, [548](#) f., Hygrometer III, [889](#) f.
 Theilbarkeit VI, [271](#), Materie IV, [929](#) ff.
 Theilmaschine, s. Thermometer VI, [308](#).
 Theilung des galvanischen Stromes, s. Strom, elektrischer VI, [168](#).
 Thenard'sches Blau, s. Kobalt IV, [288](#).
 Theodolit VI, [272](#).
 Thermen, s. Quelle V, [559](#).
 Thermanismus, s. Wärme VI, [634](#).
 Thermo-Anemometer, s. Anemoskop I, [212](#).
 Thermobrose, s. Wärme VI, [634](#).
 Thermoelektricität VI, [275](#). Thermoelektrische Erscheinungen an Krystallen [275](#) bis [279](#). Thermoelektrische Ströme [279](#) ff. Thermoelektrische Kette; thermoelektrische Spannungsbatterie [280](#) ff. Thermosäule [281](#). Wirkungen der thermoelektrischen Säule [283](#) f. Stromstärke einer thermoelektrischen Kette oder Säule [284](#). Thermoelektrische Ströme in einem einzigen Metall [284](#) f. Thermoelektrische Ströme in einzelnen gleichartigen, dehnsamen Metallen [283](#) f. Ursache der thermoelektrischen Ströme [286](#) ff. Beziehung der krystallinischen Struktur mancher Metalle zu den thermoelektrischen Strömen [288](#) ff. Ueber die Wärmeerscheinungen, welche entstehen, wenn ein galvanischer Strom durch ein aus verschiedenen Metallen zusammengesetztes leitendes System (durch eine Thermokette) geleitet wird ic. [291](#) f.
 Thermoelektrische Kette (Thermokette), s. Thermoelektricität VI, [280](#) f.

Thermoelektrische Säule (Thermosäule), f. Thermoelektricität VI, 281.
Thermoelektrische Spannungsreihe, f. Thermoelektricität VI, 280 ff.
Thermograph, f. Anemoscop I, 221.
Thermometer VI, 292. Princip 293 f. Älteste Thermometer 294. Fundamentalscalen des Thermometers und Thermometerscalen 296 f. Die Luft als thermometrische Substanz 298 f. Arnometer 300. — Verfertigung der Quecksilberthermometer 301 bis 311. Beschaffenheit der Glasröhre 301 f. Füllen des Thermometers mit Quecksilber 303. Luftthermometer und Schließen der Röhre 305. Fundamentalscala 305. Bestimmung des Siedpunktes 305 f. Verfertigung und Theilung der Scalen 308. Bestimmung der Länge solcher Röhrenstücke, die bei ungleicher Weite doch ein gleiches inneres Volumen haben 309 f. — Verfertigung der Weingeistthermometer 311 ff. Thermometer von Walfertin und Geißler 316 f. Reduction der gebräuchlichen Thermometerscalen aufeinander 317 ff. Prüfung und Berichtigung eines Thermometers 322 ff. Vorsichten beim Gebrauch des Thermometers 329 f. Correction beim Gebrauch des Quecksilberthermometers, wenn die Temperatur über 100°C. hinausgeht 331 f. — Zifferblattthermometer 333. Dreguet's Thermometer 334. Thermometrographen 335. Geothermometer 337. — Differentialthermometer II, 503. Pyrometer V, 515.
Thermometer von Harris, f. Strom, elektrischer VI, 191 f.
Thermometrograph, f. Thermometer VI, 335.
Thermomultiplikator, f. Wärme VI, 617 f.
Thermosiphon, f. Heber III, 720.
Thermoskop, f. Thermometer VI, 292. Differentialthermometer II, 503.
Thierische Electricität VI, 343. Begriffsbestimmung 343. Ein Versuch Galvani's als Grundversuch der elektrischen Nervenphysik 344 f. Froischstrom 345. Vorrichtung zu thierisch-electrischen Versuchen 345 f. Du Bois Reymond's Gesetz des Muskelstromes 347. Vertheilung der ungleichartigen Gebilde im Innern des Muskels 348 f. Elektromotorische Muskelmoleküle und peripolare Anordnung ihrer ungleichartigen Bestandtheile 349 f. Gesetz des Nervenstromes 350. Tetanisiren 351. Negative Schwankung des Muskelstromes 351 f. Electretionischer Zustand der Nerven 353. Säulenartige Polarisation der elektromotorischen Moleküle 353 f. Negative Schwankung des Nerven-

stromes beim Bewegung und Empfindung vermittelten Vorgänge 355 f.
Thierische Kohle, f. Kohlenstoff IV, 293.
Thierische Wärme, f. Wärme VI, 736 bis 743.
Thierkreis oder Zodiacus VI, 356. Die zwölf Sternbilder in der Mitte des Thierkreises 357. Verschiebung der Bilder des Thierkreises 358.
Thierkreislicht, Zodiacallicht VI, 358. Aussehen desselben 359. Thierkreislicht unter den Tropen 360. Das Thierkreislicht zeigt eine Art Gegenschein 361. Erklärung des Thierkreislichtes 361 f.
Thionsäuren, f. Schwefel V, 763.
Thon, f. Ackererde I, 103.
Thoneisenstein, f. Eisen II, 622.
Thonerde, f. Aluminium I, 138 f.
Thonschiefer, f. Berg I, 784.
Thorerde, f. Thorium VI, 363 f.
Thorium VI, 363. Vorkommen und Darstellung 363. Verbindungen desselben mit dem Sauerstoff 363 f.
Thoriumchlorid, f. Thorium VI, 363.
Thoriumoxyd, f. Thorium VI, 363 f.
Thränen, Thränendrüsen, Thränengänge, Thränenpunkte, f. Sinne V, 914.
Tiefe, bis zu welcher man in die Erde eingedrungen ist, f. Erde II, 912, 913.
Tiefste Ebbe, f. Ebbe und Fluth II, 374.
Tinte VI, 365. Geschichtliches 365. Gebräuchliche schwarze Tinte 365 f. Rungel'sche Chromtinte 366. Alizarintinte 367. Copirtinten 368 f. Unzerstörbare Tinte 369. Braconnot'sche Tinte 369 f. Baudrimont's unauslöschliche Tinte 370. Fortschaffung der Tintenreste 370. Farbige (rothe, blaue) Tinten 370 f. Dunkelgrüne Tinte 372. Sog. Goldtinte 372. Sympathetische Tinten 372. Tinten zum Zeichnen der Wäsche 373 f. Tinten zum Schreiben auf Metall 374 f. Lithographische Tinte 375. Autographische Tinte 375.
Titan VI, 375. Vorkommen und Darstellung 375 f. Verbindungen desselben mit Sauerstoff 376, mit Chlor 377 f.
Titanchlorid, f. Titan VI, 378.
Titanchlorür, f. Titan VI, 377.
Titanoxyd, f. Titan VI, 376.
Titan säure, f. Titan VI, 376 f.
Lithonische Strahlen, f. Licht IV, 480.
Todtes Meer, f. Seen V, 825.
Tödtung durch den Bliß, f. Gewitter III, 565, 574—578.
Töne, f. Ton VI, 379 ff.
Töne durch Mittheilung, f. Wellenbewegung VI, 940 ff., Ton VI, 394 f.
Töne, höchste und tiefste, die noch vernehmbar sind, f. Ton VI, 402, 403.

Tönen erhitzen Metalls, s. Ton VI, [421](#) bis [426](#).

Toiletteseifen, s. Verseifung VI, 901.

Toise (von Peru), s. Maß IV, [528](#).

Tombach, s. Kupfer IV, [401](#).

Ton VI, [379](#). Höhe oder Tiefe eines Tones [379](#). Gesetze schwingender Saiten [379](#) ff. Intervalle; consonizende und dissonizende Intervalle [382](#) ff. Halbe und ganze Töne [385](#). Großer und kleiner halber Ton [386](#). Komma [386](#). Erhöhung und Erniedrigung der Töne [386](#). Diatonische und chromatische Tonleiter [387](#). Ungleichschwebende Temperatur [388](#). Gleichschwebende Temperatur [389](#). Verhältniß der Schwingungszahlen und Saitenlängen für die gleichschwebende Temperatur [389](#). Accorde [390](#) f. Die zweckmäßigste Anzahl von Intervallen [391](#) f. Mittlingen der Töne; harmonische Töne [394](#) f. Schwingungsknoten und Schwingungsbäuche [395](#). Combinationstöne [396](#) f. Sirene [397](#) ff. Ermittelung der absoluten Anzahl der Schwingungen, welche einem gewissen Tone entsprechen [400](#) ff. Tiefste und höchste Töne [402](#) f. Verschiedene Erregungsart der Töne [404](#) ff. Transversale, longitudinale und drehende Schwingungen [404](#) f. Stimmgabel, Ringe, elastische Scheiben, Glocken, gespannte Membranen [406](#) ff. Tönen tropfbarer Flüssigkeiten [408](#). Tönen elastischer Flüssigkeiten [409](#) f. Labialpfeife, Blötenwerk [410](#) ff. Brummkreisel [412](#) ff. Zungenpfeife [415](#) f. Künstliche Vofallaute [418](#) f. Ton bei der Flugbewegung der Insekten [419](#). Tönen beim Ausströmen der Luft aus Oeffnungen in dünner Wand [419](#), durch kurze Ansatzröhren [420](#). Chymische Harmonika [420](#). Tönen erhitzter Metalle (Travelhan's Apparat) [421–426](#). Tonerzeugung durch den elektrischen Strom [426](#) f. Reflexionstöne, untersucht von Döppel [427](#). Musikalische Instrumente [427](#) bis [433](#). — Vergl. Wellenbewegung VI, [873](#) ff., [896–951](#).

Tonerzeugung durch den elektrischen Strom, s. Magnetismus IV, [782](#) ff., Ton VI, [426](#) f.

Tonleiter, s. Ton VI, [384](#) ff.

Tonnengebläse, s. Gebläse III, [492](#).

Topf, Pavinischer, s. Digestor II.

Torf, s. Heizung III, [728](#), [734](#), Berg I, [785](#).

Torfstohle, s. Heizung III, [734](#) f.

Torfmoore, s. Sümpfe VI, [205](#) f.

Tornados, s. Winde VI, [991](#) (Anmerkung), Gewitter III, [561](#).

Torossen, s. Eis II, [611](#).

Torricelli'sche Leere, s. Barometer I, [655](#),

Atmosphäre I, [463](#); Torricelli'sches Gesetz, s. Ausfluß I, [624](#).

Torsion VI, [433](#), Elasticität II, [683](#).

Torsionswaage VI, [437](#).

Torsionswinkel, s. Torsion VI, [433](#).

Totale Mondfinsterniß, s. Mond IV, [1113](#) f.

Totale Sonnenfinsterniß, s. Mond IV, [1113](#) f., Sonnenfinsterniß VI, [25](#).

Trabanten, s. Planeten V, [320](#).

Tracht, s. Berg I, [783](#).

Trägheit, s. Bewegung I, [809](#) f., Materie IV, [929](#).

Trägheitsmoment VI, [437](#). Winkelgeschwindigkeit [437](#). Mathematischer Ausdruck für das Trägheitsmoment [438](#). Trägheitsmoment einer dünnen Stange, einer homogenen Scheibe, eines Cylinders, eines homogenen rechtwinkligen Parallelepipeds, eines Ellipsoids, einer Kugel und eines Kegels [439](#) f. Trägheitsmoment eines Körpers in Bezug auf irgend eine Axe, die mit einer durch den Schwerpunkt des Körpers gehenden Axe parallel ist [440](#). Verhalten zweier Massen, die um dieselbe Axe rotiren [440](#) f. Reduction einer Masse auf eine gegebene Entfernung [441](#).

Tragfähigkeit (Tragkraft), s. Festigkeit III, [122](#) f., [127](#) f.

Tragkraft der Magnete, s. Magnetismus IV, [784](#), der Elektromagnete, s. Elektromagnetismus II, [794–797](#), Strom, elektrischer VI, [191](#).

Tragmodul, s. Festigkeit III, [123](#).

Tragräder, s. Locomotive IV, [584](#).

Trajectorie, s. Bewegung I, [820](#), Wurfbewegung VI, [1029](#) ff.

Transcalorische Körper, s. Wärme VI, [624](#).

Transformation, s. Amorph I, [151](#).

Transmissionswellen, s. Wellenbewegung VI, [889](#).

Transversale Aeoloharfe, s. Aeoloharfe I, [117](#).

Transversale Schwingungen, s. Wellenbewegung VI, [879](#), [898](#) ff., [909](#) f.; transversale Schwingungen der Saiten, s. Ton VI, [379](#) ff.

Transversalmagnet, s. Magnetismus IV, [787](#).

Trapez, s. Krystall IV, [360](#).

Trapezoid, s. Krystall IV, [360](#).

Trappporphyr, s. Berg I, [784](#).

Travados, s. Gewitter III, [561](#).

Travertin, s. Quelle V, [563](#).

Treibcylinder (Dampfcylinder), s. Dampfmaschine II, [348](#) ff., Locomotive IV, [590](#).

Treibeis, s. Eis II, [609](#).

Treibräder, s. Locomotive IV, [584](#), [590](#) f., [600](#) f.

Trennung, chemische, f. Verwandtschaft, chemische VI, [544](#) ff. Trennende Verwandtschaft [546](#).

Trennung der Theilchen eines und desselben Körpers erregt unter Umständen Elektricität, f. Elektricität II, [782](#), [784](#) f.

Treppen (fog.) in der Schnecke des Gehörorgans, f. Sinne V, [930](#) f.

Tretad, Tretscheibe, f. Rad an der Welle V, [374](#).

Trevelhan-Instrument, f. Ton VI, [421](#).

Trichter bei chemischen Untersuchungen, f. Filtriren III, [200](#).

Triebstocher, f. Mäderwerk V, [373](#) f.

Tribometer, f. Reibung V, [630](#).

Trilling, f. Mäderwerk V, [373](#).

Trimetaphosphorsäure, f. Phosphor V, [226](#).

Trimetrische Krystalle, f. Krystall IV, [362](#).

Trimorph, f. Krystall IV, [383](#), Dimorph II, [531](#), [532](#).

Trinkwasser, Herstellung desselben durch Filtriren, f. Filtriren III, [203](#). Vergl. über Trinkwasser auch Wasserstoff VI, [828](#)—[837](#).

Trivialsalze, f. Salze V, [679](#), [680](#).

Trithionäure, f. Schwefel V, [763](#).

Trockenapparat, f. Trocknen VI, [441](#) ff., Schwunnamaschine V, [821](#).

Trockene Destillation, f. Destillation II, [469](#).

Trockene (galvanische) Säulen, f. Säule, elektrische V, [660](#) ff.

Trockenregulatoren, f. Gebläse III, [497](#).

Trockenschrant, f. Trocknen VI, [443](#) f.

Trocknen VI, [441](#). Wichtigkeit des Trocknens für die quantitative Analyse der Körper [441](#). Verfahren bei verschiedenen Substanzen [441](#) f. Trocknen organischer Substanzen [442](#) ff. Wasserbad [442](#). Verkleinerung des Trocknens durch Luftwechsel und einen luftverdünnten Raum [443](#) f. Trockensapparat von Mohler [444](#) f. Trockenschrant [443](#) f. Sandbad [446](#). Vorrichtungen zum Trocknen in den Gewerben [446](#) f. Anwendung des Trocknens zur Aufbewahrung der Lebensmittel [447](#) f. Trocknen der Gemäße [448](#) f.

Trogapparat, f. Säule, elektrische (galvanische) V, [648](#) f., [653](#) f.

Trombe, f. Wasserhose VI, [792](#).

Trommel, f. Ton VI, [428](#).

Trommel zum Elektrophor, f. Elektrophor II, [843](#).

Trommelfell, f. Sinne V, [948](#).

Trommelhöhle, f. Sinne V, [948](#).

Trompete, f. Ton VI, [431](#).

Trompette od. Röhre, eustach., f. Sinne V, [948](#).

Tropfbare Flüssigkeiten, f. Flüssigkeit III, [283](#). Gleichgemischungsverhältnisse tropfbarer

Flüssigkeiten, f. Statif VI, [88](#) ff.; Bewegung derselben, f. Mechanik der Flüssigkeiten IV, [958](#) ff. (f. auch Zusammendrückbarkeit tropfbar flüssiger Körper VI, [1109](#) ff.). Wellenbewegung tropfbarer Flüssigkeiten, f. Wellenbewegung VI, [879](#) ff.; tönende Wellenbewegung (Schwingungen) derselben ebenda [933](#) ff. — Bezüglich der Ursache des tropfbar flüssigen Aggregatzustandes, f. Wärme VI, [756](#) f.

Tropfstein, f. Quelle V, [863](#).

Tropfsteinköhlen, f. Höhlen III, [836](#).

Tropischer Monat, f. Monat IV, [1103](#).

Tropischer Umlauf (tropische Revolution), f. Planeten V, [333](#), [354](#).

Tropisches Sonnenjahr, f. Jahr IV, [2](#).

Trümmeradax, f. Achat I, [101](#).

Trümmergestein, f. Berg I, [783](#).

Tubus, f. Fernrohr III, [97](#).

Tuff, f. Berg I, [783](#); Kieftuff, f. Silicium V, [899](#), Quelle V, [563](#).

Tungsteinmetall, f. Wolfram VI, [1008](#).

Turbine, f. Wasserrad VI, [803](#) f.

Turmalin, f. Thermoelektricität VI, [275](#) f., Polarisation des Lichtes V, [397](#) f.

Typhen, f. Winde VI, [991](#).

Ueberchlorsäure, f. Chlor I, [960](#).

Ueberchlorsäure Salze, f. Chlor I, [960](#).

Ueberdruck des Dampfes, f. Dampfmaschine II, [283](#).

Ueberfall, f. Ausfluß I, [623](#).

Uebergangsgebirge, f. Berg I, [796](#).

Uebermangansäure, f. Mangan IV, [877](#).

Uebermangansaures Kali, f. Mangan IV, [877](#).

Ueberichlagen des elektrischen Funkens, f. Flasche, elektrische III, [252](#) ff., Funke, elektrischer III, [291](#), [293](#).

Ueberschwemmungen der Flüsse, f. Ströme VI, [161](#).

Uhren, f. Chronometer I, [972](#). Pendel V, [183](#), Compensation I, [983](#). Uhren, benutzt zu Längenbestimmungen, f. Meridian IV, [1017](#). — Berichtigung der Uhren mit Hilfe des Mittagshorizonts, f. Passageninstrument V, [143](#). — Sonnenuhren VI, [27](#). Polarisation des Lichtes V, [455](#).

Uhren, elektrische, f. Strom, elektrischer VI, [199](#), Telegraphie VI, [259](#).

Ultramarin VI, [449](#). Geschichtliches [449](#) f. Künstliche Darstellung desselben [450](#) ff. Verwendung des Ultramarin [452](#) f. Prüfung des Ultramarin auf seine Farbestärke [453](#). Feinheit des Ultramarin und sein Verhalten zu Verdichtungsmitteln sc. [453](#) f.

- Umbildungen der Krystalle, f. Krystall IV, [383](#).
- Umdrehung eines völlig freien Systems um einen Punkt, f. Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte VI, [1133](#).
- Umfang der Erde, f. Erde II, [878](#) f., [892](#).
- Umgekehrte Regenbogen, f. Regenbogen V, [622](#).
- Umgekehrter Schatten, f. Schatten V, [713](#) f.
- Umkehrung der Elektricität eines Körpers unter verschiedenen Umständen, f. Elektricität II, [746](#) f. Umf. in der galvanischen Spannungsreihe, f. Spannungsreihe, galvanische VI, [37](#), in der thermoelektrischen Spannungsreihe, f. Thermoelektricität VI, [280](#) f.
- Umlaufzeiten der Planeten, f. Planeten V, [327](#), [333](#), [341](#), [347](#) ff.
- Umschattung, f. Schatten V, [713](#).
- Umsteuerungssysteme, f. Locomotive IV, [614](#).
- Undeutlichkeit, Halbmesser derselben, f. Abweichung, optische I, [99](#), [101](#).
- Undulation, f. Wellenbewegung VI, [873](#).
- Undulationstheorie, f. Licht IV, [521](#).
- Undurchdringlichkeit VI, [455](#), Materie IV, [927](#) ff.
- Undurchsichtig, f. Licht IV, [514](#), [519](#).
- Unedle Metalle, f. Metalle IV, [1027](#).
- Unempfindlichkeit des Auges gegen gewisse Farben, f. Sinne V, [913](#) ff.
- Ungleichnamige Magnetpole, f. Magnetismus IV, [746](#).
- Unipolare Induction, f. Induktion, elektrische IV, [16](#), IV, [812](#) f.
- Unipolare Leiter, f. Leiter der Elektricität IV, [455](#).
- Universalhydrrometer, f. Hyrometer V, [525](#).
- Universal-Vibrations-Photometer, f. Photometer V, [301](#).
- Universalwaage, f. Waage VI, [789](#).
- Unregelmäßige (diffuse) Reflexion des Lichtes, f. Licht IV, [519](#), Spiegel VI, [42](#) f.
- Unregelmäßige (diffuse) Reflexion der Wärme, f. Wärme VI, [617](#), [639](#), [640](#) f.
- Unschattige, f. Schatten V, [713](#).
- Unsichtbare Strahlen, f. Wärme VI, [657](#) f., [758](#) ff., [761](#), VI, [1080](#).
- Unterbrochener Heber, f. Heber III, [718](#).
- Untere Planeten, f. Planeten V, [320](#) f.
- Untergang der Gestirne, f. Aufgang und Untergang I, [566](#).
- Unterirdische Quellen, f. Quelle V, [547](#).
- Unterphosphorige Säure, f. Phosphor V, [220](#).
- Unterphosphorsäure, f. Stickstoff VI, [121](#), [125](#).
- Unterschied der Mittagskreise (Meridian-differenz), f. Meridian IV, [1013](#) f.
- Unterschwefelige Säure, f. Schwefel V, [763](#).
- Unterschwefelsäure, f. Schwefel V, [763](#).
- Unterstützungspunkt, f. Hebel III, [707](#), Statif VI, [75](#), Waage VI, [769](#) f. — Unterstützungspunkte rüchichtlich der Stabilität, f. Statif VI, [81](#) ff.
- Unterwärtsgehende Destillation, f. Destillation II, [469](#), [471](#).
- Untiefen, f. Meer IV, [989](#).
- Unveränderliches Pendel, f. Pendel V, [180](#).
- Unwägbarer Stoff (Äther), f. Materie IV, [940](#), Wärme VI, [749](#) ff.
- Uran VI, [453](#). Vorkommen und Darstellung [453](#) f. Verbindungen desselben mit dem Sauerstoff [456](#). Verwendung des Uranoryduls in der Technik [457](#). Uran-gelb [457](#) f. Uranorydsalze [458](#) f. Verbindungen des Uran mit dem Chlor [460](#). Erkennung und quantitative Bestimmung des Uran [461](#).
- Uranchlorür, f. Uran VI, [460](#).
- Uran-gelb, f. Uran VI, [457](#).
- Uran-oxer, f. Uran VI, [455](#).
- Uranoryd, f. Uran VI, [456](#) ff.
- Uranorydul, f. Uran VI, [456](#) f.
- Uranus, f. Planeten V, [347](#) f., [387](#).
- Urgebirge, f. Berg I, [796](#).
- Urinöse Luft, f. Ammoniak I, [143](#).
- Vacuum, f. Leere (im Reg.).
- Vanadin VI, [461](#). Vorkommen und Darstellung [461](#) f. Verbindungen desselben mit dem Sauerstoff [463](#) ff., mit dem Chlor [466](#), mit dem Schwefel [466](#).
- Vanadinbleierz (Vanadinit), f. Vanadin VI, [461](#).
- Vanadinchlorid, f. Vanadin VI, [466](#).
- Vanadinchlorür, f. Vanadin VI, [466](#).
- Vanadinoryd, f. Vanadin VI, [363](#) ff.
- Vanadinsäure, f. Vanadin VI, [364](#).
- Vanadinsuboryd, f. Vanadin VI, [463](#) f.
- Vaporimeter, f. Weingeist VI, [869](#) f.
- Varec, f. Natrium V, [10](#).
- Variation, f. Mond IV, [1112](#).
- Variationen der Magnetnadel, f. Abweichung, magnetische I, [82](#), Neigung der Magnetnadel V, [53](#), [63](#) f.; Magnetometer IV, [846](#); Magnetismus der Erde IV, [808](#).
- Vegetation als Quelle der Elektricität, f. Elektricität II, [761](#), Pflanzenelektricität V, [200](#).
- Variolit, f. Berg I, [783](#).
- Ventilator VI, [467](#). Radventilator [467](#). Vorschlag von Cavallo [468](#). Ventilator nach de l'Isle de St. Martin [468](#) f. Druckventilator nach Parrot [469](#) f. Ventilator von Gales [470](#) f. (f. auch Gebläse III, [494](#)). Centrifugalventilator [471](#).

Ventile bei Pumpen, s. Pumpe V, 490, 500 f.; bei Luftpumpen, s. Luftpumpe IV, 720; bei Dampfmaschinen, s. Dampfmaschine II, 349 ff., Ventile bezüglich der Kesselarmatur ebenda 335, 337, 339; Sicherheitsventil ebenda 341 (Locomotive IV, 603).

Ventilheber, s. Heber III, 716.

Ventilluftpumpe, s. Luftpumpe IV, 720.

Venus, s. Planeten V, 347 f., 351; Vorübergang vor der Sonnenscheibe ebenda 351 und Art. Durchgang der unteren Planeten durch die Sonnenscheibe II, 370.

Vera'sche Seilmaschine, s. Seilmaschine V, 852.

Veränderung in der Schiefe der Ekliptik, s. Schiefe der Ekliptik V, 713 ff.

Verbindung, chemische, s. Verwandtschaft, chemische VI, 539 ff., 543.

Verbrennung VI, 471. Eintheilung der chemischen Grundstoffe in Zündstoffe und brennbare Stoffe 472. Producte der Verbrennung 472 f. Drydation 473 f. Wärmeentwicklung beim Verbrennen 474. Lichtmenge dabei 475. Ursache der Feuererscheinung (der Entwicklung von Licht und Wärme) 476 (s. auch Wärme VI, 762). Drydation des Kohlenwasserstoffgases u. in Verührung mit Platin 476 f. Davy's Glühlampe 477 f. Untersuchung Hilgard's über die Lichtflamme 478 ff. Untersuchung Landolt's über die chemischen Vorgänge in der Flamme des Leuchtgases 480 f. Verfahren, um den Temperaturgrad eines brennbaren Stoffes in atmosphärischer Luft zu erhöhen 481 f.

Verdampfung, s. Verdunstung und Verdampfung VI, 493. Aggregat I, 127.

Verdichtende und verdünnende Welle, s. Wellenbewegung VI, 918.

Verdichtung der Gase VI, 482. Versuche Faraday's 482 ff. Versuche von Aimé 486. Thilorier's Apparat zur Verdichtung der Kohlensäure 487 f. Ratterer's Apparat zu demselben Zwecke 488 f. Eigenschaften der flüssigen und starren Kohlensäure 489 f. Verdichtung des Stickstoffoxyduls 491 f. Weitere Versuche von Ratterer 492 f. Abweichungen vom Mariotte'schen Gesetze 493 f. Verdichtung verschiedener Gase zu tropfbaren Flüssigkeiten mittelst einer einfachen Vorrichtung 494 f.

Verdichtung der Luft mittelst der Luftpumpe, s. Luftpumpe IV, 727. Compressionsmaschinen I, 993 f.

Verdichtungspumpe, s. Compressions-

maschinen I, 993. Verdichtung der Gase VI, 487 ff.

Verdünnung der Luft, s. Luftpumpe IV, 713 ff., 733.

Verdunkelung des Gesichts, s. Sinne V, 937.

Verdunstung und Verdampfung VI, 493. Grenze der Verdunstung durch Temperaturerniedrigung 493 (s. Atmosphäre I, 481 f., Dampf II, 21).

Verdunstung im luftverdünnten Raume 496. Verdunstung durch thierische Häute 496 f. Vorgänge und Wahrnehmungen im gewöhnlichen Leben 497 f. Wollaston's Kryophorus 498. Verdunstungskälte, Eisbildung durch dieselbe 498 ff. Versuche (Schröter's) über das Gefrieren des Wassers im luftverdünnten Raume und über die durch Verdunstung des Eises dabei erzeugte Kälte 502 ff. Die Verdunstung des Wassers in Bezug auf die Entstehung der Gletscher 505. Umstände, welche die Verdampfung des Wassers abzuändern vermögen 505 f.

Verdunstungsmesser, s. Atmometer I, 430.

Verfinsterungen des Mondes und der Sonne, s. Mond IV, 1113 ff., Sonnenfinsternisse VI, 23.

Verfinsterung der Jupitermonde zu Längenbestimmungen benutzt, s. Meridian IV, 1018, zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit, s. Licht IV, 313 f.

Verglasung, s. Amorph I, 131.

Vergoldung VI, 506. Feuervergoldung 506 f. Färbung der Vergoldung 507 f. Verhalten der galvanischen Vergoldung (Galvanoplastik III, 396) zur Feuervergoldung 508 f. Die kalte Vergoldung 509. Masse Vergoldung 509. Vergoldung auf Silber 510. Vergoldung einzelner Uhrentheile 510. Vergoldung sehr harter Gegenstände 510 f. Vergoldung nicht metallischer Gegenstände 511. Goldplattirtes Silber bei der Holzvergoldung 512. Vergoldung des Porzellans und Glases 512 f.

Vergrößerung durch Fernröhre, s. Fernrohr III, 102 f. Praktische Bestimmung der Vergrößerungszahl eines Fernrohrs ebenda 120 f.

Verlorene Kraft, s. Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte VI, 1129.

Vermillon, s. Quecksilber V, 341.

Bernier, s. Nonius V, 78.

Verquickung, s. Amalgam I, 140.

Verschludung, s. Absorption I, 17.

Verschwinden der Flüsse, s. Ströme VI, 161.

Verseifung VI, 513. Geschichtliches 513 f. Fette, aus denen Seife fabricirt wird 514 ff.

- Theorie der Seifenbildung [516](#) f. Harte und weiche Seife; Natronseife, Kaliseife (Schmierseifen) [518](#). Marmorirung der Seife [518](#) f. Schneiden der Seife [519](#). Sieden auf Leim und Sieden auf den Kern [519](#). Baumölseife [520](#). Cocosnußölseife [512](#). Harzseife wird bei der Fabrication des sogenannten Maschinenvapieres benutzt [522](#). Alkalische Reaction der Schmierseifen [523](#). Verfälschung der Seife [523](#) ff. Prüfung der Seife auf ihren Werth [525](#) ff. Fabrication der Toiletteseifen [528](#) ff. Die Verseifung der Fette als Grundlage der Kerzenfabrication [531](#) f. Abänderung des Verfahrens zum Verseifen des Talgs durch Kalkhydrat [531](#).
- Versilberung VI, [532](#). Feuerversilberung [532](#). Kalte Versilberung [533](#). Masse Versilberung [533](#). Versilberung nicht metallischer Gegenstände [533](#). Versilberung der Glasspiegel [533](#) f. Methode von Viebig, durch Versilberung des Glases fehlerfreie optische Spiegel herzustellen [534](#) f.; Verfahren von Petitjean [535](#) f.
- Verstärkungsflasche, f. Flasche, elektrische III, [245](#).
- Versteinernde (incrustirende Quellen), f. Quelle V, [563](#).
- Versteinerungen, f. Geologie III, [515](#).
- Versteinerungen in Höhlen, f. Höhlen III, [545](#).
- Verstüßtes Quecksilber, f. Quecksilber V, [542](#).
- Vertheilung der Elektricität, f. Elektricität II, [720](#) ff., [724](#) ff.
- Vertheilung, Erregung des Magnetismus durch sogenannte Vertheilung, f. Magnetismus IV, [746](#) f.
- Vertikalkreis, f. Scheitel V, [714](#).
- Vervielfältigungskreis VI, [537](#).
- Verwandtschaft, chemische VI, [539](#). Geschichtliches [539](#) f. Hauptbedingung bei der Aeußerung chemischer Anziehung [541](#). Sogenannte Substitution; status nascens [542](#). Chemische Verbindungen verschiedener Ordnungen [543](#). Maß der chemischen Verwandtschaft [544](#). Einfache und doppelte Wahlverwandtschaft [545](#). Ruhende und trennende, wechselseitige und prädisponirende Verwandtschaft [546](#) f. Feste Verhältnisse, nach denen die chemischen Verbindungen vor sich gehen [548](#). Stöchiometrie [548](#) ff. Richter's stöchiometrische Untersuchungen [548](#) f. Die Aequivalenz verschiedener Gewichtsmengen von verschiedenen, chemisch ähnlichwirkenden Körpern als Grundlage der Stöchiometrie [554](#) f. Tabelle der Aequivalentzahlen (Mischungsgewichte) der chemischen Elemente [557](#) f. Ansicht, daß die Aequivalentgewichte der chemischen Elemente einfache Multipla von dem des Wasserstoffes seien [559](#). Chemische Zeichensprache [560](#) ff. Symbole und Formeln von Gerhardt und Laurent [564](#) f. Hauptvorthile der chem. Zeichensprache [556](#) f. Gesetz der Erhaltung der Quantität der Materie, Gesetz der bestimmten Verhältnisse und Gesetz der multiplen Proportionen oder der Vielfachen [567](#) f. Beispiele von Fragen, die sich mit Hilfe der Stöchiometrie beantworten lassen [569](#) ff. — Theorie der chemischen Verwandtschaftserscheinungen [574](#) — [581](#). Vergl. Materie IV, [926](#) ff., [933](#) f., [935](#) ff., insbesondere [942](#) ff., Wärme VI, [752](#) ff., [756](#)—[769](#).
- Verwitterung VI, [581](#).
- Verzinkung, f. Zink VI, [1085](#), Galvanoplastik III, [404](#).
- Verzinnung, f. Zinn VI, [1096](#), Galvanoplastik III, [404](#), Kupfer IV, [391](#).
- Verirbecher, f. Heber III, [719](#).
- Vibrationshypothese, f. Licht IV, [521](#).
- Vibrationsintensität, f. Inflexion IV, [73](#).
- Vierlinge, f. Krystall IV, [382](#).
- Viertel des Mondes, f. Mond IV, [1107](#) f.
- Virtuelle Geschwindigkeit, f. Statik VI, [79](#) ff. Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte VI, [1023](#), [1131](#).
- Virtuelle Momente, f. Zusammensetzung u. Zerlegung der Kräfte VI, [1023](#).
- Vitriol, grüner, f. Eisen II, [618](#), Schwefel V, [774](#); Vitriol, blauer, f. Kupfer IV, [394](#).
- Vitriolisirter Weinstein, f. Kalium IV, [205](#).
- Vitriolnaphta, f. Aether I, [122](#).
- Vogelperspective, f. Projection V, [488](#).
- Volle Fluth, f. Ebbe und Fluth II, [574](#).
- Vollmond, f. Mond IV, [1007](#).
- Volta's Elektrometer (Voltameter), f. Galvanismus III, [339](#) f.
- Volta'sche Elektricität, f. Galvanismus III, [304](#).
- Volta'sche Säule, f. Galvanismus III, [313](#).
- Voltameter, f. Strom, elektr. VI, [180](#).
- Volumen, spezifisches, f. Volumtheorie VI, [587](#) f., Isomorphismus IV, [148](#).
- Volumen, relatives (spezifisches Dampfvolumen), f. Dampfmaschine II, [285](#) ff.
- Volumenometer VI, [582](#). Volumenometer von Kopp [582](#) f. Stereometer von Gay und Leslie [583](#) f. Volumenometer von Regnault [584](#).
- Volumeter, f. Aräometer I, [290](#).
- Volumtheorie VI, [584](#). Grundthatsache [584](#) f. Verhältniß des Volums einer chemischen Verbindung zur Summe der Volume der einzelnen Bestandtheile [585](#) f.

Annahme, daß gleiche Volume gasförmiger Elemente bei gleichem Druck und gleicher Temperatur gleich viele Atome enthalten 586. Beziehung zwischen dem specifischen Gewichte und dem Atomgewichte 586 f. Äquivalentvolum (Atomvolum, specifisches Volumen) 587 f. Atomvolum fester und tropfbar flüssiger Körper 589 f. Gruppirung der chemischen Elemente in Bezug auf das Atomvolum 591. Äquivalente Mengen isomorpher Körper erfüllen einen gleichen Raum (Kopp) 591. Beziehung zwischen dem specifischen Gewicht der festen und flüssigen Verbindungen und ihrer chemischen Zusammensetzung 592 ff. Atomvolum flüssiger Verbindungen 594 f. Isomere Flüssigkeiten haben gleich große Atomvolum 597. Berechnung des Volumverhältnisses, in welchem die Bestandtheile einer Verbindung vereinigt sind, wenn das specifische Gewicht der Verbindung und ihre Zusammensetzung dem absoluten Gewichte nach bekannt sind 598. Berechnung des specifischen Gewichtes eines Gases aus seinem Äquivalentgewicht und umgekehrt 600.

Vorausbestimmung des Wetters, s. Wetter VI, 931 ff.

Vorgebirgsländer, s. Berg I, 769.

Vorhofsfenster, s. Sinne V, 948.

Vorlage, s. Destillation II, 470.

Vorrücken der Nachtgleichen, s. Nachtgleichen V, 1 ff.

Vulkan VI, 601. Krater, Erhebungs-krater und Auswurfskrater 602 ff. Verschiedenartiges Hervortreten der feurigflüssigen Massen 603. Beschreibung eines vulkanischen Ausbruches 603 ff. Anzahl der noch thätigen Vulkane 607 f. Central- und Reihenvulkane 609. Auswurfstoffe 610 ff. Dämpfe; Asche 610 f. Lavilli (Rapilli); Lava 611 f. Charakteristik der Laven 612. Eigenthümlichkeit der Vulkane in der Äquatorialzone Amerikas 612 f. Ueber das Ursächliche der Vulkane 613 f. Vulkane Europas und der Inseln des atlantischen Oceans 614.

Vulkanische Ausbrüche, s. Vulkan VI, 603 ff.

Vulkanische Auswurfstoffe, s. Vulkan VI, 610 ff.

Vulkanische Gebirgsarten, s. Berg I, 783 f.

Vulkanisten und Neptunisten, s. Geologie III, 517 ff., 531—538.

Wachstafent an der Elektrifirmaschine, s. Elektrifirmaschine II, 768.

Wachstafentventile, s. Luftpumpe IV, 720 f.

Wägen, s. Wage VI, 777 ff.

Wälder, deren Einfluß auf das Klima, s.

Klima IV, 272 ff. Regen V, 588, Quelle V, 549 f.

Wälzende Reibung, s. Reibung V, 628 ff.

Wände eines Zimmers haben Einfluß auf die Resonanz, s. Wellenbewegung VI, 549.

Wärme VI, 614. Begriffsbestimmung 614 f. Hitze; Kälte; Temperatur 614. Wärmeleiter 614. Verbreitung der Wärme durch Strahlung 614 f. Reflexion der Wärmestrahlen 616; unregelmäßige Reflexion derselben 617. Thermomultiplicator 617 ff. Gebrauch desselben 619 f. Versuche Melloni's über den Durchgang der Wärmestrahlen durch verschiedene Substanzen 621—632. Diathermanie; Diathermanität 633 f. Versuche Knoblauch's bezüglich der strahlenden Wärme 634 ff. Wärmeabsorption verschiedener Substanzen 636 ff. Reflexionsvermögen der Metalle nach de la Provostaye und Desains 639 f. Diffus reflectirte Wärme 640 ff. Reflexion der Wärmestrahlen an polirten Metallen 644. Einfluß der Metalle auf strahlende Wärme 645 f. Wärmeausstrahlungs- (Emissions-)vermögen der Körper 646 ff. Strahlung von Punkten, die unterhalb der äußeren Oberfläche liegen 648 f. Die ausgestrahlte Wärmemenge ist abhängig vom Sinus der Neigung der erhigten Fläche 649 f. Beantwortung der Frage, ob sich die Wärme, welche bei einer und derselben Temperatur oder innerhalb bestimmter Temperaturgrenzen von gewissen Körpern ausstrahlt, als verschiedenartig darstellt, je nachdem sie von dem einen oder anderen ausgesandt oder auf ungleiche Weise in ihnen erregt wird 651 f. Verhältniß des Reflexionsvermögens zum Absorptions- und Emissionsvermögen 652 f. Beständige Wärmeausstrahlung der Körper 653 f. Bewegliches Gleichgewicht 654. Abnahme der Intensität der Wärmestrahlen mit wachsender Entfernung 654. Brechung der Wärmestrahlen, einfache und doppelte 654 f. Abhängigkeit des Durchgangs der strahlenden Wärme durch Krystalle von ihrer Richtung 655 f. Vertheilung der Wärme im Sonnenspectrum 657 f. Versuche Draper's über die Natur der Farben, die ein glühender Körper bei steigender Temperatur entwickelt 658. Versuche von Franz über die Beziehung zwischen Farbe und Diathermanität 660 f. Verbreitung der Wärme durch Leitung 661—678. Begriffsbestimmung 661 f. Gesetz der stationären Temperaturen eines an einem Ende erhigten Metallstabes 663 f. Innerer und äußerer Wärmeleitungscoefficient 664. Formel

von Fourier für die relative Leitungsfähigkeit verschiedener Substanzen 663. Wärmeleitungsvermögen verschiedener Substanzen nach Desprez 663 f. Gouilland's Versuche zur Prüfung der Formel $y = Ae - ax + Be ax$. Die Leitungsfähigkeit ist (nach Langberg) abhängig von der Temperatur 666. Versuche von Wiedemann und Franz über die Wärmeleitungsfähigkeit der Metalle 667—673. Temperaturunterschied beim Uebergange der Wärme aus einem Metall in ein anderes 673. Versuche von Angström 673 f. Relative Leitungsfähigkeit verschiedener Felsarten (nach v. Helmersen) 674. Wärmeleitungsfähigkeit verschiedener Holzarten nach den Versuchen von de la Rive und Decandolle 675 f. Contactthermometer 676. Versuchsweise von Franklin und Ingenhouß 677. Senarmont's Versuche über die Wärmeleitung der Krystalle 677. Verbreitung der Wärme in tropfbaren Flüssigkeiten und Gasen 678. Gesetze der Abkühlung oder Temperaturerniedrigung eines Körpers 678—687. Newton's Formel für die Abkühlung 678. Versuche von Dulong und Petit 679 ff. Versuche von de la Provostaye und Desains 682 f. Untersuchung von Wilhelm 683 ff. — Wärmecapazität; Wärmeinheit, spezifische Wärme 687. Experimentelle Ermittlung der spezifischen Wärme 688 ff. Methode der Mischung 688 f. Methode des Gießschmelzens 690. Methode der Abkühlung 690 f. Versuche Regnault's 691 f. Spezifische Wärme gasförmiger Körper 693 ff. Spezifische Wärme unter constantem Druck und spezifische Wärme bei constantem Volumen 696. Beziehung zwischen der spezifischen Wärme und dem Atomgewichte der Körper 697 ff. Schmelzen; latente Wärme 700 ff. Die Temperatur, bei welcher ein Körper erstarrt, ist abhängig von dem Druck, unter dem er steht 702. Leidenfroß'sches Phänomen 703—708. Spannkraft der Dämpfe 708 (s. Dampf II, 21, 86 ff., Dampfmaschine II, 283). Beziehung zwischen Wärme und mechanischer Arbeit 708—716. Ableitung des Druckes, welchen Gase auf die Wände eines Gefäßes ausüben, aus dem Stöße der Gasteilchen 717 ff. Wärmequellen 719—747. Die Sonne als Wärmequelle 720 ff. Wärme der Mondstrahlen 724. Mechanische Mittel der Wärmeerregung 724 ff. Wärmeränderung beim Ausströmen comprimierter Luft in den luftleeren Raum 728 f. Wärmeentwicklung durch schnelle Compression

festen Körper 726 f. Temperaturerniedrigung bei Metalldrähten, die durch Gewichte gespannt werden u. 727. Wärmeentwicklung durch Reibung 728. Frictionskochapparat 729. Wärmeentwicklung bei der Absorption der Gase; Selbstentzündung der Kohle 729. Wärmeentwicklung durch chemische Verbindungen 729—734. Thermochemisches System (Thomson's) 734. Wärmeentwicklung bei Molecularveränderungen 735 f. Wärmeentwicklung durch den Lebensproceß 736—746. Thierische Wärme 736—743; Wärmeentwicklung in den Pflanzen 743—746. — Der elektrische Strom als Wärmequelle 746 (s. Strom, elektrischer VI, 191 ff.). Wärmewirkung der Inductionsfunken 746 f. Wärme durch Einwirkung eines Magnets auf bewegte Körper 747. — Theoretische Ansicht der Wärmeerscheinungen 748—769. Ältere Ansichten 748 ff. Wägbarkeit der Wärme 749 f. Emissionstheorie der Wärme 750 ff. Oscillationstheorie der Wärmeerscheinungen 752—762. Ältere Ansichten in dieser Beziehung 752 ff. Bestimmtere Fassung der Oscillationstheorie durch Ampère 754. Oscillirende Bewegung der Atome 754 f. Aggregatzustände der Körper 756 f. Definitionen der Atome und Moleküle 758. Identität der Licht- und Wärmestrahlen 758 ff. — Ueber die elektrischen Erscheinungen in Bezug auf die Licht- und Wärmeerscheinungen oder über die Identität des sog. elektrischen Fluidums mit dem Licht- und Wärmeäther 762—769. Wärme, spezifische, s. Wärme VI, 687 ff. Wärme, strahlende, s. Wärme VI, 614 bis 661. Wärmeausstrahlung, s. Wärme VI, 646 ff. Wärmecapazität, s. Wärme VI, 687. Wärmeinheit, s. Wärme VI, 687. Wärmeleitung, s. Wärme VI, 661 ff. Wärmemenge der Brennmaterialien, s. Heizung III, 729 ff. Verbrennung VI, 474 f. Wärmemenge, welche jährlich zur Verdampfung verwendet wird, s. Wärme VI, 722. Wärmemesser, s. Thermometer VI, 292. Wärmequellen, s. Wärme VI, 719—747. Wässerige Feuchtigkeit im Auge, s. Sinne V, 917. Wässerige Salzsäure, s. Chlor I, 961. Wässriges Ammoniak, s. Ammoniak I, 147. Wässriges Chlor, s. Chlor I, 938. Wage VI, 769. Krämerwage 769 f. Aufschlagswinkel 771. Mathematische Entwicklung der Verhältnisse einer Wage

772 f. Empfindlichkeit einer Waage 773.
Abbildung einer hydrostatischen Waage 774.
Aufhängungspunkte der Schalen und die Zunge 775 f.
Gewichte 776. Wie das richtige Gewicht des abzuwägenden Körpers bei ungleicher Länge der Waagearme zu erhalten ist 777 f. Abwägen gewulvener Körper zc. 778. — Reduction des in der Luft erhaltenen Gewichtes eines Körpers auf den leeren Raum 780 f. — Römische (romantische) Waage oder Schnellwaage 781 f. Schwedische Schiffswaage 783. Schwedische oder dänische Waage 783 f. — Zeigerwaagen 785. Seewaage 786. Straßburger Brückenwaage 787. Universalwaage (Zeupold'sche) 789. Meßvermählte Waage 789 f. Tafelwaage 790.
Waage, elektromagnetische, f. Multiplikatort IV, 1132 f.
Waagebalen, f. Waage VI, 770, 773.
Waagebalen, f. Waage VI, 770, 773 f.
Wahlverwandtschaft, f. Verwandtschaft, chemische VI, 539, einfache und doppelte Wahlverwandtschaft 545.
Waidasche, f. Kalium IV, 204.
Walzweel, f. Dehnbarkeit II, 435.
Wandelsterne, f. Planeten V, 320.
Wanken der Erdbare, f. Nachtgleichen V, 3.
Wasser, f. Wasserstoff VI, 824 — 837.
Ausdehnung des Wassers durch die Wärme, f. Ausdehnung I, 589 ff. (f. auch Gewicht III, 358 f.). Zusammenziehbarkeit des Wassers, f. Wasser VI, 826 f., besonders Zusammenziehbarkeit tropfbar flüssiger Körper VI, 1117.
Wasserablassbahn, f. Dampfmaschine II, 335 ff.
Wasserausblassrohr, f. Dampfmaschine II, 335 ff.
Wasserbarometer, f. Barometer I, 634.
Wasserblei, f. Kohlenstoff IV, 200.
Wasserdampf, f. Dampf II, 20 ff., Dampfmaschine II, 285 ff.
Wasserschnecke, f. Ströme VI, 137.
Wasserfall, f. Ströme VI, 138.
Wasserglas, f. Kalium IV, 200, Natrium V, 17.
Wasserhammer VI, 791.
Wasserhebel (Pergana's), f. Ströme VI, 137.
Wasserhebemaschinen, f. Pumpe V, 490, Wasserfäulenmaschine VI, 808 f., Wasserfäulenmaschine VI, 813; Dampfmaschine II, 281.
Wasserheizung, f. Heizung III, 778.
Wasserhöfe VI, 792. Beschreibung des Phänomens 792 ff. Dasselbe besteht in einem Wirbel 800 f. Sandhöfen 802.
Wasserfies, f. Eisen II, 620.
Wassermenge der Ströme, f. Ströme VI, 137, 139 ff.

Wasserfies VI, 802. Segner'sches Wasserfiesrad 804. Turbinen (Kreisfäulen) 803 ff.
Wasserregulatoren bei Gebläsen f. Gebläse III, 498.
Wasserfäulenmaschine VI, 808.
Wasserfäulen, f. Berg I, 763, Ströme VI, 134.
Wasserfäulen, f. Wasserfäulen VI, 813.
Wasserfäulen, f. Quecksilber V, 332.
Wasserfäulenrohr, f. Dampfmaschine II, 335 ff.
Wasserfäulen VI, 816. Vorkommen und Darstellung desselben 816 ff. Wasserfäulen durch reines Zink 818. Eigenschaften des Wasserfäulens 819. Knallgas (Knallluft) 820. Verbrennung des Wasserfäulens in Sphor, Zed und Brom 821. Vereinigung von Sauer- und Wasserfäulen durch hohe Temperatur, und bei niedriger Temperatur mittelst edler Metalle 821. Der Wasserfäulen als Reduktionsmittel 822.
Wasserfäulen in einem eigenthümlichen Zustande 823 f. Verbindungen des Wasserfäulens mit dem Sauerfäulen 824 ff. Wasser 824—837. Geschichtliches 824 f. Eigenschaften des Wassers 826 f. Analysen von Fluß-, Quell- und Brunnenwasser 828 ff. Gutes Trinkwasser 831 ff. Weiches und hartes Wasser 835. Mittel, um dem Wasser seine Härte zu benehmen 836. Trinkfäulen des Seewassers 836 f. — Wasserfäulenhyperoxyd 837 f. Ozon 838.
Wasserfäulengas, f. Wasserfäulen VI, 816.
Wasserfäulenhyperoxyd, f. Wasserfäulen VI, 837 f.
Wasserfäulensäuren, f. Säuren V, 671.
Wasserfäulenschwefel, f. Schwefel V, 783.
Wasserfäulenmaschine, f. Gebläse III, 493.
Wasserfäulen, f. Wasserfäulen VI, 792.
Wasserfäulen als Linse im Mikroskop, f. Mikroskop IV, 1047.
Wasserfäulen, f. Meer IV, 1010.
Wasserwaage, f. Libelle IV, 568.
Wasserfäulen, galvanische, f. Galvanismus III, 331, 339 ff.
Wasserfäulen (der Sonne) IV, 839 f.
Wasserfäulen durch Wärme, f. Strom, elektrischer VI, 193.
Wasserfäulen Verwandtschaft, f. Verwandtschaft, chemische VI, 546 f.
Weg- oder Meilenmaße, f. Maß IV, 910, Erde II, 899 f.
Weich, f. Elasticität II, 685, Härte III, 673.
Wein, scheinbar aus Wasser, f. Statif VI, 100.
Weingeist VI, 839 f. Vereinigung des

Branntweins 840 ff. Verwendung der Getreidearten und Kartoffeln 841 f. Verwendung der Knollen von *Helianthus tuberosus* 842. Gährung 842 f. Arras 842 f. Rum 843. Gewinnung von Branntwein aus der Rübenmelasse 843 f. Spiritusfabrikation aus Runkelrüben (in Frankreich) 844 f. Verwendung der zuckerhaltigen Säfte des Kern- und Steinobstes und der Krappwurzeln 846 f. Neue Zuckerpflanze (Zuckermohrhirse oder Sorgho) 847. Verwandlung der Holzfaser (Cellulose) in Zucker zum Behufe der Spiritusfabrikation 848. Benützung verschiedener vegetabilischer Stoffe 848 f. Verwendung der Queckwurzeln zur Weingeistbereitung 849 f. Fabrikation des Alkohols aus den Apocynaceenwurzeln, der gemeinen Feige und der Dattel 850. Branntwein aus Milch 850. Vorschlag von Leplay, die Zuckerbildung der Getreidearten durch Kochen mit verdünnter Schwefelsäure anstatt des Malzens und Einmaischens zu bewirken 850 f. Bildung von Bernsteinsäure und Glycerin bei der geistigen Gährung 851. Branntwein aus Wein 851 f. Destillation der gegohrenen Branntweinmaische 852 ff. Kühlapparate 853. Destillirapparat von Visflorius 854 f. Schwarze'scher Apparat 855. Marienbadapparat von Gall 855 f. Apparate von Deros bei der Destillation des Franzbranntweins 856. Fuselöle 857 f. Reinigung des Weingeistes von Fuselölen 858 f. Reinigung durch Abziehen über Seife 859. Verwendung des Spiritus in der Technik 860. Schnelle und leichte Darstellung eines fuselfreien Alkohols (nach Stein) 860 f. Graham's Methode zur Concentration des Alkohols 861. Eigenschaften des reinen Alkohols 861 f. Absorptionsvermögen des Alkohols für Gase 862 f. Sömmerring's Methode, den Weingeist zu concentriren 863. Wärmeentwicklung bei der Vermischung von Wasser und Alkohol 864. Chemische Formel des Alkohols 864 f. Zerlegung des Alkohols durch Einwirkung verschiedener Körper 865. Alkoholate 866. Auffindung des Alkohols bei gerichtlichen Untersuchungen 866 f. Verfälschungen des Alkohols 868 ff. Prüfung des Weingeistgehaltes irgend einer gegohrenen Flüssigkeit (Weisler's Vaporimeter), 869 f. — Wissenschaftliche Bedeutung des Wortes Alkohol 870. Kohlenwasserstoffradicale und deren Oxyde 870 f. Methylerythridhydrat (Holzgeist) 871. Propylalkohol 871 f. Butyl- und Amylalkohol 872. Verwendung des Amylalkohols in der Parfümerie und feinen Conditorei 872.

Ethylalkohol und valerianalkohol 872. Amylalkohol 872. Weitere Ausdehnung der Klasse der Alkohole in neuerer Zeit 873.

Weingeistlampengebläse, s. Gebläse III, 499.

Weingeistthermometer, s. Thermometer VI, 311 ff.

Weinhefenasche, s. Kalium IV, 204.

Weinsteinalkali, s. Kalium IV, 202.

Weinsteinalkali, saures, s. Kalium IV, 207.

Weinwaage (Weinmesser), s. Aräometer I, 336.

Weisse Faserhaut, s. Sinne V, 914.

Weisser Arsenik, s. Arsenik I, 359.

Weisses Nichts (nihilum album), s. Zink VI, 1087.

Weisser Präcipitat, s. Quecksilber V, 546.

Weißfeuer, indisches, s. Flamme III, 242.

Weißgold (weißes Gold), s. Platin V, 380.

Weite des deutlichen Sehens, s. Sehen V, 832.

Weitsichtig, s. Sinne V, 937, Sehen V, 833.

Welle (bei der Schwingungsbewegung), s. Wellenbewegung VI, 873 ff.; Welle in tropfbaren Flüssigkeiten, ebenda 880 f. Länge einer Welle, ebenda 881, 884 f.; in gasförmigen Medien ebenda 917 ff. Berechnung der Wellenlänge aus der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellenbewegung und der Zeitdauer einer Schwingung, ebenda 921 (s. auch S. 885 und 919). — Bezüglich der Wellen des Aethers (oder der Lichtwellen), s. Licht IV, 520 ff., Interferenz IV, 68 ff., Interferenz IV, 97, Polarisation des Lichtes V, 406 ff. Ueber die Länge der Lichtwellen, s. Interferenz IV, 69, Farberinge Newton's III, 79. — In Rücksicht der Wellenbewegung des Aethers, insofern sie die Wärmeerscheinungen bedingt, s. Wärme VI, 752 ff., 754—762.

Welle, Rad an der, s. Rad an der Welle V, 872.

Wellenbewegung VI, 873. Oscillation (Vibration) und Undulation 873. Erläuterung der Wellenbewegung durch die fortschreitende Schwingung an einem aufgespannten Seile 874 f. Stehende Schwingung 875 ff. Schwingungsknoten 877 f. Longitudinale, transversale und rotatorische Schwingungen 879. Wellenbewegung in tropfbaren Flüssigkeiten 879 bis 896. Wellenberg und Wellenthal; Länge einer Welle 881. Wellenrinne 881 f. Bewegung der einzelnen Theilchen einer

Flüssigkeit bei der Fortbewegung und Entstehung der Welle 882 ff. Geschwindigkeit der Wellen 886 f. Erregung der Wellen durch den Wind 887 f. Die Wellen kommen zuweilen früher als der Wind an einem Orte an 888. Vergrößerung der Meereswellen 889. Transmissionswellen 889. Durchkreuzung verschiedener Wellen 889 f. Zurückwerfung der Wellen an festen Wänden 890 f. Beugung (Inflexion) der Wellen 891 f. Stehende Schwingungen in tropfbaren Flüssigkeiten 893 f. Umbildung der fortschreitenden Schwingung in eine stehende 894 ff. Wellenbewegung in Folge der Elasticität eines Körpers, wenn dessen moleculares Gleichgewicht an irgend einer Stelle gestört ist 896 ff. Primäre und secundäre Wellen 897. Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer transversalen Welle 898. Beziehung zwischen den durch Längen- und Querschwingungen derselben Saite hervorgerufenen Tönen 899 f. Schwingungen von Platten oder Scheiben 900. Klangfiguren 901 f. Messungen bezüglich der Knotenlinien homogener elastischer Scheiben 903 f. Schwanen und rotirende Bewegung der Knotenlinien unter gewissen Bedingungen 905 f. Ungleichheit der Elasticität (fester Körper) nach verschiedenen Richtungen, erkennbar aus der Bewegung und Stellung der Knotenlinien auf Scheiben 906 ff. Faraday's Ergänzungsfiguren 908 f. Schwingungen ausgepannter Häute (Membranen) 909. Schwingungen (transversale) elastischer homogener Stäbe 909 f. Verfahren zur Zählung der Schwingungen eines elastischen Stabes 910 ff. Schwingungen gekrümmter Stäbe 912. Längenschwingungen in Stäben und Röhren 912 ff. Knotenlinien auf der Außen- und Innenfläche tönender Glasröhren 913 f. Schwingungen langer und schmaler Streifen 916. Drehende Schwingungen in Stäben 917. Relation zwischen den longitudinalen und transversalen Schwingungen eines cylindrischen Stabes 917. — Wellenbewegung gasförmiger Medien 917 bis 933. Wellenbewegung der Luft in einer Röhre 918 ff. Verdichtende und verdünnende Welle 918. Wellenlänge und Geschwindigkeit, womit die schwingende Bewegung sich fortpflanzt 919. Wellenbewegung im freien Luftraume 920 f. Berechnung der Wellenlänge aus der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellenbewegung und Zeitdauer der Schwingung eines Theilchens 921. Fortpflanzung des Schalles in der atmosphärischen Luft 921 ff.

Einfluß des Windes auf den Schall 924. Reflexion der Schallwellen 924 f. Brechung der Schallwellen 925. Beugung der Schallwellen 925 f. Durchkreuzung der Luftwellen. Bildung stehender Schwingungen aus der Interferenz directer und reflectirter Wellen 926 f. Schwingungsverhältnisse der tönenden Luftsäule in Pfeifen 927 ff. Verhältniß zwischen den successiven Tönen einer Pfeife und den entsprechenden Druckkräften der Luft, durch deren Einblasen die Töne erzeugt werden 929. Störungen an den Enden einer Pfeife 929. Benugung der Pfeifen zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit 929 f. Spiralförmige Bewegung der Luft bei Erzeugung des Tones in Pfeifen (Bermond's Versuche) 930 ff. Tönende Schwingungen in tropfbaren Flüssigkeiten; Wertheim's Apparat zur Erzeugung stehender Schwingungen und zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in tropfbaren Flüssigkeiten 933 ff. Tabelle der Schallgeschwindigkeiten in tropfbaren Flüssigkeiten 936 f. Schallgeschwindigkeit in verschiedenen Substanzen (nach Masson) 937. Definitionen des Klanges (nach Helmholtz) und analytischer Ausdruck des Tones (Discussion hierüber zwischen Ohm und Seebeck) 938 f. Einfluß der relativen Bewegung des tönenden Instrumentes auf die wahrzunehmende Tonhöhe (Doppler) 939 f. Mittheilung tönender Schwingungen 940 f. Resonanz, verschiedene Arten derselben 941. Unterschied zwischen einem selbsttönenden und resonirenden Körper 941 f. Versuche Savart's über die Mittheilung der Schwingungen 942 f. Sogenannte Polarisation des Schalles 943. Resonanzfiguren 944. Selbsttönen durch Mittheilung 944 f. Resonanz der von festen Körpern umschlossenen Luft 945. Gebäude, die zur Aufführung von Musikstücken geeignet sein sollen 945. Seebeck's Untersuchung über die Abänderung der Schwingungen eines Körpers unter dem Einfluß des Luftwiderstandes und unter dem gleichzeitigen Einfluß einer veränderlichen Kraft, die eine Funktion der Zeit ist 945—951.

Wellenberg und Wellenthal, f. Wellenbewegung VI, 881.

Wellenbewegung des Aethers, f. Licht IV, 520 ff., Inflexion IV, 68 ff., Interferenz IV, 97, Farbenringe III, 75 f., 79, Polarisation des Lichtes V, 406 ff., Wärme VI, 752 ff., 754—762.

Wellenförmige Bewegung bei Erdbeben, f. Erdbeben II, 857, 858.

Wellenförmige Bewegung des Meeres, f.

Meer IV, 1009 ff., Wellenbewegung VI, 886—889.
 Wellenmaschine, f. Polarisation des Lichtes V, 434 ff., Wellenbewegung VI, 931.
 Wellenrinne, f. Wellenbewegung VI, 881 f.
 Wels, elektrischer, f. Fische, elektrische III, 207.
 Weltgegenden, f. Horizont III, 883.
 Weltraum, Temperatur desselben, f. Wärme VI, 722 f.
 Welttheile (größere Erdtheile), f. Erde II, 913 f.
 Weltumsegelungen (Erdumssegelungen), f. Erde II, 872.
 Wendekreise, f. Sonnenwenden VI, 34, Erde II, 874.
 Wendepunkte, f. Sonnenwenden VI, 33.
 Wendestunden bei den täglichen Barometerschwankungen, f. Atmosphäre I, 497 ff.
 Werkblei, f. Silber V, 874 f.
 West, Westen, Westpunkt, f. Horizont III, 883, Abend I, 2, Meridian IV, 1013.
 Westrom, f. Meer IV, 1000.
 Wetter VI, 951. Begriffsbestimmung 951 f. Gutes und schlechtes Wetter 954. Wetterregeln Vasco's und Kirwan's 955. 100jähriger Kalender u. 955 f. Wetterglas von Wright (?) 957 f. Wetterregeln aus dem Leben der Thiere, insbesondere der Sinnen 958 ff., aus dem Leben der Pflanzen 961. Anzeigen bevorstehender Witterungsveränderungen nach dem Aussehen des Himmels 961 ff. Wolkensformation 962. Zusammenhang zwischen Wind und Barometerstand 963 f. Das Barometer als Wetterglas 964. — Vergl. in Rücksicht der Wetteranzeigen Dämmerung II, 14, Hof III, 861, Nebel V, 39, Regen V, 603, Wasserziehen VI, 838 f., Winde VI, 984 f., Wolken VI, 1013 f., 1020. — Atmosphäre I, 497, 519, 532 (Mond IV, 1119), I, 537, Winde VI, 996, Hygrometer III, 886 ff.
 Wetter, schlagendes, f. Kohlenstoff IV, 310.
 Wetterableiter (Blitzableiter), f. Gewitter III, 878 ff.
 Wetteranzeigen, f. Wetter VI, 951 ff., 958 ff., 962 ff., und die bei Wetter im Register angeführten Artikel.
 Wetterglas, f. Barometer I, 654, Wetter VI, 963 f. (f. auch S. 957).
 Wetterfahne, f. Anemoskop I, 177.
 Wetterleuchten VI, 964.
 Wetterlichter, f. Luftpolektricität IV, 703 ff.
 Wetterlöcher, f. Höhlen III, 836.
 Wettersäule, f. Wasserhose VI, 792.

Wetterscheiden, f. Gewitter III, 601, Regen V, 603.
 Wetterdrabl, f. Gewitter III, 563 ff.
 Widder, hydraul., f. Stoßheber VI, 140.
 Widersee, f. Meer IV, 1011.
 Widerstand fester Körper gegen eine Trennung ihrer Theilchen, f. Festigkeit III, 122.
 Linie, elastische IV, 527, Torsion VI, 433.
 Widerstand bei Maschinen, f. Maschine IV, 884 ff., und die einzelnen nachhaltigen Maschinen. — Widerstände bei Dampfmaschinen, f. Dampfmaschine II, 380 ff.
 Widerstand umgebender Mittel (gegen die Bewegung), f. Mechanik der Flüssigkeiten IV, 963—973, f. auch Pendel V, 173 f., 191 f., Wurfbewegung VI, 1029 ff.
 Widerstand gegen die Leitung der Electricität, f. IV, 423, VI, 162 ff.
 Widmanstätten'sche Figuren, f. Feuerfugel III, 180.
 Wiederhall, f. Echo II, 591.
 Wiener Grün, f. Kupfer IV, 397.
 Wimpern (des Auges), f. Sinne V, 913.
 Windbäume, f. Wolken VI, 1020.
 Windbüchse, f. Compressionsmaschinen I, 996.
 Windbüchsenlicht, sogenanntes, f. Licht IV, 488.
 Winde (eine Maschine), f. Rad an der Welle V, 573.
 Winde VI, 965. Windrichtungen 965. Anrichten im Alterthume 966. Passatwinde (Damentwinde); Mouffons, etefischen Winde der Alten 967. Land- und Seewinde 967 f. Gegend der Windstillen 968. Verhältnisse der Passatwinde 968 ff. Grenzen der Passatwinde 969 ff. Ursache der Passatwinde 971—976. Halley'sche und Hadley'sche Theorie 971 ff. Windverhältnisse in den außertropischen Gegenden 976 ff. Drehungsgesetz des Windes 976 f. Stürme 979—986. Niederer Stand des Barometers bei Stürmen 984. Gang des Barometers während eines Sturmes 986. — Locale Erscheinungen 987. — Heiße Winde 987 f. Kalte Winde 989. Richtung, Geschwindigkeit und Stärke des Windes 990. Verwüstungen durch Stürme 990 f. Berechnung der mittleren Richtung und Stärke des Windes 991 f. Abhängigkeit der Windrichtung von den Jahreszeiten und Tageszeiten 993 ff. Abhängigkeit von den Mondphasen 995. Vergleichung der Kraft der Winde mit den gleichzeitigen Barometerschwankungen an einigen Orten der Niederlande 995. Die Abhängigkeit des Barometerstandes von dem

zur Zeit der Beobachtung herrschenden Winde ist bestätigt 995 f. Zusammenhang zwischen der Windrichtung und dem Thermometerstande, sowie zwischen der Windrichtung und der Elasticität des Wasserdampfes 996. Druck der trocknen Luft, ebenda. Gemeinsames und Unterscheidendes zwischen beiden Hemisphären der Erde in Bezug auf die Veränderungen der meteorologischen Instrumente 996 f. Einfluß der Winde auf den Organismus 997 f.

Windfahne, f. Anemoskop I, 177.

Windharfe, f. Aeoloharfe I, 116.

Windhöhlen, f. Höhlen III, 836.

Windkessel, f. Pumpe V, 499 f., Maschine IV, 888 f.

Windloch bei einer Pfeife, f. Ton VI, 410.

Windmühlen vor Blitzschaden zu hüten, f. Gewitter III, 589.

Windöfen, f. Heizung III, 763.

Windregulatoren, f. Gebläse III, 497.

Windrose, f. Wind VI, 965.

Windverhältnisse unter den Tropen, f. Winde VI, 966 ff., Windverhältnisse in den außertropischen Gegenden 976 ff.

Winkelgeschwindigkeit, f. Bewegung I, 808, Trägheitsmoment VI, 437.

Winkelhebel, f. Hebel III, 707.

Winkelspiegel, f. Spiegel VI, 48 f., Kaleidoskop IV, 185.

Winter, f. Jahreszeiten IV, 6.

Wintergewitter, f. Gewitter III, 581 f.

Winterwende, f. Sonnenwenden VI, 33.

Winterwendepunkt, f. Sonnenwenden VI, 33.

Wirbelwinde, f. Winde VI, 979 ff., Wasserhose VI, 792 ff.

Wirkung und Gegenwirkung, f. Druck II, 539.

Wirkungsgröße, f. Mechanische Arbeit IV, 975 ff., 979.

Wismuth VI, 998. Geschichtliches 998. Vorkommen und Darstellung 999. Krystallisiren des Wismuth 1000. Ausdehnung des Wismuth während des Erstarens 1000. Leitungsfähigkeit des krystallisirten Wismuth für Wärme und Electricität 1001 (f. auch Thermoelectricität VI, 288 ff., Magnetismus IV, 794). Verbindungen des Wismuth mit Sauerstoff 1002 f. Salpetersaures Wismuthoxyd 1003. Benützung des basisch salpetersauren Wismuthoxyds und des Wismuthoxyds in der Porzellanmalerei und als Schönheitsmittel 1004. Schwefelsaures Wismuthoxyd; chromsaures Wismuthoxyd 1004. Wismuthsuperoxyd 1004. Wismuthsäure 1005. Verbindungen des Wismuth mit Schwefel, Chlor und Phosphor

1005 f. Legirungen des Wismuth mit anderen Metallen 1006. Erkennen und quantitative Bestimmung des Wismuth 1007 f.

Wismuthfahlerz, f. Wismuth VI, 999.

Wismuthglanz, f. Wismuth VI, 999.

Wismuthnickelfies, f. Wismuth VI, 999.

Wismuthocker, f. Wismuth VI, 999.

Wismuthoryd, f. Wismuth VI, 1002.

Wismuthorydsalze, f. Wismuth VI, 1003.

Wismuthorydul, f. Wismuth VI, 1002.

Wismuthsäure, f. Wismuth VI, 1002, 1003.

Wismuthsilbererz, f. Wismuth VI, 999.

Wismuthweiß, f. Wismuth VI, 1003.

Witherit, f. Baryum I, 744.

Witterung, f. Wetter VI, 951.

Wiuga, f. Winde VI, 989.

Wiuische, f. Heizung III, 739.

Wochen, f. Kalender IV, 188.

Wogen, f. Meer IV, 1009.

Wolfram VI, 1008. Vorkommen und Darstellung 1008 f. Verbindungen mit dem Sauerstoff 1009 ff. Wolframsaure Salze 1011. Verbindung des Wolfram mit Chlor 1012. Erkennen des Wolfram 1012. Technische Verwendung des Wolfram bei der Stahlfabrikation 1013.

Wolframoryd, f. Wolfram VI, 1009.

Wolframsäure, f. Wolfram VI, 1009 f.

Wolframsaure Salze, f. Wolfram VI, 1011.

Wolframstahl, f. Wolfram VI, 1013.

Wolken VI, 1013. Schweben der Wolken 1014 f. Isolierte Wolken 1015. Tafeltuch auf dem Tafelberge am Vorgebirge der guten Hoffnung 1016. Schweben einer Wolke über einer einzeln liegenden Insel 1016. Wolken über Wäldern und Wiesen 1016. Mehrere Wolkenschichten über einander 1016 f. Verschiedene Wolkensformen; Cirrus, Cumulus, Stratus, Cirrocumulus, Cirrostratus, Cumulostratus u. Nimbus 1017 ff. Windbäume 1020. Wolkenbank (Varies) 1021. Mittlere Höhe der Federwolken 1021. Umwandlung der Cirrostrati und Cumuli in Regenwolken 1021 f. Bestimmung der Höhe der Wolken 1023—1027. Höhe verschiedener Wolken 1027. Dicke der Wolkenschichten 1028. Beobachtungen während einer Luftfahrt 1028 f. — Vergl. Regen V, 582 ff., 601 f., Gewitter III, 560, 600 ff., Hagel III, 685 ff.

Wolkenbruch, f. Regen V, 610, Wolken VI, 1015.

Wolkengebilde, f. Wolken VI, 1017 ff.

Woolf'sche Dampfmaschine, f. Dampfmaschine II, 278.

Wooß, f. Eisen II, 626 f.
 Würfel, f. Krystall IV, 863.
 Württemberg'scher Heber, f. Heber III, 718.
 Wurfbewegung VI, 1029. Gleichung der Trajectorie (Wurflinie) eines materiellen Punktes im leeren Raume 1029 f. Wurfweite 1030. Die Wurflinie ist eine Parabel 1030. Wurfbewegung im luftersfüllten Raume; Ableitung der Gleichung für die sog. ballistische Curve 1031 ff. Wirkung der Luft auf verschiedene Wurfkörper 1035. Benutzung der Brückenwaage zur Ermittlung der Geschwindigkeit abgeschossener Körper 1037 f. — Vergl. Mechanik der Flüssigkeiten IV, 971 ff.
 Wurfweite, f. Wurfbewegung VI, 1030.
 Wurzelsystem einer Quelle, f. Quelle V, 549.

Yard, f. Maß IV, 902.
 Yttererde, f. Yttrium VI, 1038.
 Yttrium VI, 1038. Vorkommen und Darstellung 1038 f. Trennung der Yttererde von der Erbin- und Terbinerde 1039.
 Yttriumoxyd, f. Yttrium VI, 1038.

Zähigkeit, f. Dehnbarkeit II, 453.
 Zähne, f. Räderwerk V, 575.
 Zäpfchen (im Auge), f. Sinne V, 945.
 Zahl, goldene, f. Cyclus I, 1016, Kalender IV, 188.
 Zahlen, stöchiometrische, f. Verwandtschaft, chemische VI, 553 ff.; 557 ff.
 Zahnfitt, f. Kupfer IV, 406.
 Zamboni'sche Säulen, f. Säule, galvanische V, 666 ff.
 Zapfenreibung, f. Reibung V, 628, 630, 632 f.
 Zauberkunst, Magie, natürliche VI, 1039—1050.
 Zauberklaterne VI, 1050.
 Zechstein, f. Berg I, 796, Geologie III, 523.
 Zeichen des Thierkreises, f. Thierkreis VI, 356 f.
 Zeigerwaage, f. Wage VI, 785.
 Zeit VI, 1053. Sternzeit 1053 f. Wahre und mittlere Sonnenzeit 1054 f. Vergl. Culmination I, 1016, Passageninstrument V, 145, Sonnenuhren VI, 27, Meridian IV, 1022.
 Zeit der Nachtgleichen, f. Nachtgleichen V, 1.
 Zeit beim Fall der Körper, f. Bewegung I, 813 f., Fall der Körper III, 9, Strom, elektrischer VI, 198, Wurfbewegung VI, 1037 f.

Zeit der Sonnen und Zeit der Wellen, f. Winde VI, 969, Regen V, 584.
 Zeitgleichung, f. Zeit VI, 1055.
 Zeitrechnung, f. Chronologie I, 971, Jahr IV, 1, Monat IV, 1103, Kalender IV, 188, Cyclus I, 1016, Meridian IV, 1013 ff.
 Zellenapparat, f. Säule, galvanische V, 653 f.
 Zenith, f. Scheitel V, 714.
 Zenithdistanz, f. Scheitel V, 714 f.
 Zerbrecen, f. Festigkeit III, 122, 127 f., Linie, elastische IV, 527 ff.
 Zerdrücken, f. Festigkeit III, 122, 136 f.
 Zerfnisterungswasser, f. Decrepitiren II, 542 f., Krystall IV, 337.
 Zerlegung, f. Zersetzung (im Reg.).
 Zerrbilder, f. Anamorphose I, 175, Cylinderspiegel I, 1017, Regelspiegel IV, 222.
 Zerreissen, f. Festigkeit III, 122 ff.
 Zersetzung, chemische, f. Verwandtschaft, chemische VI, 544 f.
 Zersetzung, elektrochemische VI, 1055. — Galvanismus III, 331 ff., 366 ff.
 Zerstreuung des Lichts VI, 1059. Verschiedene Bedeutung des Wortes „Zerstreuung“ 1059. Fluorescenz 1059—1082. Charakteristik der Erscheinung 1059 ff. Epipolirtes Licht 1061. Innere Dispersion 1061. Herleitung des Wortes Fluorescenz 1062. Versuche von Stokes 1062 ff. Fluorescirende Wirkung des Lichtes, welches durch färbende Mittel gegangen ist 1066 ff. Verhalten fluorescirender Körper im prismatischen Spectrum 1069 f. Prismatische Zerlegung der Fluorescenzfarben 1070. Allgemeinheit des Fluorescenzvermögens 1078 f. Notizen 1076 f. Sogenannte intermittirende Fluorescenz 1077 f. Wellenlänge der unsichtbaren durch Fluorescenz wahrnehmbar werdenden Lichtstrahlen 1078. Ursache der Fluorescenz 1078 ff.
 Zerstreuung (diffuse Reflexion) der Wärme, f. Wärme VI, 647, 640 ff.
 Zerstreuungsgläser, f. Einsenglas IV, 546.
 Zerstreuungsverhältniß, f. Brechbarkeit I, 870 f.
 Zerstreuungsvermögen, f. Brechbarkeit I, 870 f., Einsenglas IV, 571 ff.
 Ziehbarkeit, f. Dehnbarkeit II, 453.
 Zifferblattthermometer, f. Thermometer VI, 333.
 Zink VI, 1082. Vorkommen und Darstellung 1082 f. Eigenschaften 1083. Drysdation des Zinks in feuchter Luft 1084 f. Protegiren des Eisens durch Zink 1085.

- Verwendung des Zinks 1085 f. Verbindungen des Zinks mit dem Sauerstoff 1087 f. Zinkvitriol 1089. Neutrales kohlensaures Zinkoxyd 1089 f. Salpetersaures Zinkoxyd 1090. Verbindungen des Zinks mit Schwefel und Chlor 1090 f. Erkennung des Zinks in Lösungen 1091 f. Prüfung der Erze und Hüttenproducte auf ihren Gehalt an Zink 1092.
- Zinkblech, f. Zink VI, 1083 f.
 Zinkblende, f. Zink VI, 1082.
 Zinkblumen, f. Zink VI, 1087.
 Zinkchlorid, f. Zink VI, 1090.
 Zinkerze, f. Zink VI, 1082.
 Zinkoxyd, f. Zink VI, 1087.
 Zinksulfat, f. Zink VI, 1082.
 Zinksulfoxyd, f. Zink VI, 1090.
 Zinkvitriol, f. Zink VI, 1089.
 Zinkweiß, f. Zink VI, 1087.
- Zinn VI, 1092. Geschichtliches 1092. Vorkommen und Darstellung 1092 f. Eigenschaften 1094 f. Merkwürdige Structurveränderung von bleibartigem Zinn 1093. Verwendung des Zinns 1096 f. Verbindungen des Zinns mit Sauerstoff 1097 ff. Verbindungen desselben mit dem Schwefel 1101, mit Chlor 1102 f. Erkennung des Zinns 1103 f. Quantitative Bestimmung des Zinns und Trennung desselben von anderen Metallen 1104 f. Probiren der Zinnerze 1105.
- Zinnasche, f. Zinn VI, 1098.
 Zinnchlorid, f. Zinn VI, 1102 f.
 Zinnchlorür, f. Zinn VI, 1102.
 Zinnfolie, f. Zinn VI, 1096.
 Zinnober, f. Quecksilber V, 340 f.
 Zinnoryd, f. Zinn VI, 1097, 1098 f.
 Zinnorydul, f. Zinn VI, 1097 f.
 Zinnsäure, f. Zinn VI, 1097, 1098 f.
 Zinnsud, f. Zinn VI, 1096.
 Zinnsulphuret, f. Zinn VI, 1101.
 Zirkon, edler, f. Zirkonium VI, 1106.
 Zirkonerde, f. Zirkonium VI, 1103 ff.
 Zirkonit, f. Zirkonium VI, 1106.
 Zirkonium VI, 1103. Vorkommen und Darstellung 1103 ff. Darstellung der Zirkonerde 1107. Verbindung der Zirkonerde mit Säuren 1108. Verbindung des Zirkonium mit Chlor und Schwefel, ebenda. Salze der Zirkonerde, und Unterscheidung der Zirkonerde von der Thon-, Beryll- und Wittererde 1108 f.
- Zitteraal, f. Fische, elektrische III, 207 ff.
 Zitterfische, f. Fische, elektrische III, 207.
 Zitterrochen, f. Fische, elektrische III, 207 ff.
 Zitterwels, f. Fische, elektrische III, 207.
 Zirkafalllicht, f. Thierkreislicht VI, 338.
 Zorakus, f. Thierkreis III, 336.
- Zelle zur Berechnung der Mondfinsternisse, f. Mond IV, 1114.
 Zone, f. Krystall IV, 376.
 Zonen der Erde, f. Erde II, 874, Klima IV, 275.
 Zuckeraräometer, f. Aräometer I, 354. ☞
 Zuckertlösungen auf ihren Gehalt an Zucker zu prüfen, f. Polarisation des Lichtes V, 436.
 Züge in Oefen, f. Heizung III, 760 ff.
 Zündhölzchen, f. Feuerzeug III, 191, Phosphor V, 219, Zündhütchen V, 338 f.
 Zündlampe, elektrische, f. Feuerzeug III, 184.
 Zündstoffe, f. Verbrennung VI, 472.
 Zug, f. Druck II, 353, 359.
 Zug in Schornsteinen, f. Heizung III, 746.
 Zugkraft auf Eisenbahnen, f. Eisenbahn II.
 Zunge, an der Wage f. Wage VI, 770.
 Zungenpfeife, f. Ton VI, 413.
 Zurückwerfung (Reflexion) der Schallwellen, f. Wellenbewegung VI, 924.
 Zurückwerfung (Reflexion) des Lichts, f. Optikal V, 97, Licht IV, 519, 523, Spiegel VI, 42 ff. Unregelmäßige (diffuse) Zurückwerfung des Lichts, f. Licht IV, 519, Glanz III, 602, Zerstreuung des Lichtes VI, 1039.
 Zurückwerfung (Reflexion) der Wärme, f. Wärme VI, 616, 639 f., 644. Diffuse Zurückwerfung der Wärmestrahlen, f. Wärme VI, 617, 640 ff.
 Zurückwerfung elastischer Körper, f. Bewegung I, 838 ff.
 Zusammendrückbarkeit gasförmiger Körper, f. Gas III, 410 ff., Verdichtung der Gase VI, 482.
 Zusammendrückbarkeit tropfbar flüssiger Körper VI, 1109. Fortpflanzung des Druckes in Flüssigkeiten und harten Körpern 1109. Vorläufige Betrachtung über die Zusammendrückbarkeit harter Körper 1109 f. Methode, um die Volumsveränderungen harter Körper und das Verhältniß dieser Volumsveränderungen zu den entsprechenden Verlängerungen oder Compressionen zu bestimmen 1111. Canton's Versuche über die Zusammendrückbarkeit des Wassers 1111 f. Reissin und Desiré's Versuche 1112 ff. Piezometer 1112. Capacitätsveränderung des Piezometers 1114 f. Tabelle der Zusammendrückbarkeit tropfbarer Flüssigkeiten nach den Versuchen von Desiré und nach denen von Cellaton und Sturm 1113. Versuche Regnault's 1113 f. Versuche Grassi's 1117 (f. auch Wellenbewegung VI, 936 ff.). Wärmeentwicklung bei der Compression tropfbarer Flüssigkeiten 1118.

Zusammendrückbarkeit fester Körper, s. Elasticität II, 697—706. Vergl. **Zusammendrückbarkeit tropfbar flüssiger Körper** VI, 1109 f., 1111.

Zusammengesetzte galvan. Ketten, s. Säule, galvanische V, 653 ff.

Zusammengesetzte Maschinen, s. Maschine IV, 884 f., 886.

Zusammengesetzte Winde, s. Räderwerk V, 579.

Zusammengesetztes Mikroskop, s. Mikroskop IV, 1055—1072.

Zusammengesetztes Pendel, s. Pendel V, 161, 168.

Zusammenkunft, s. Aspecten I, 363, Planeten V, 322 (Anmerk.). Syzygien VI, 207.

Zusammenschmelzungen, s. Begirung IV, 418.

Zusammensetzung des weißen Lichtes und der Farben, s. Farbe III, 29 ff., 34.

Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte VI, 1118. Die Mechanik als eine Lehre von der Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte 1119. Zusammensetzung mehrerer geradliniger Bewegungen zu einer krummlinigen Bewegung 1119 f. Betrachtung über die Schwungkraft mit Hilfe des Parallelogrammes der Kräfte 1120 ff. — Allgemeine Grundlehren der Mechanik 1023 ff. Princip der virtuellen Geschwindigkeiten 1023 f. Differentialformeln der geradlinigen Bewegung 1025 f. Krummlinige

Bewegung 1126 ff. Centralbewegung 1128 f. D'Alembert'sches Princip 1131 f. Verbindung des D'Alembert'schen Princip's mit dem Princip der virtuellen Geschwindigkeiten 1129 f. Gleichungen der Umdrehungsbewegung eines völlig freien Systems um einen Punkt 1133 f. Lebendige Kraft eines Systems von Punkten 1134 f. Arbeit der bewegenden und widerstehenden Kraft bei Maschinen 1135 f. Ueber eine gewisse Incongruenz zwischen den theoretisch abgeleiteten Formeln für das Gleichgewicht und die Bewegung elastischer fester Körper und der Wirklichkeit 1136 ff. Versuche von Wertheim 1136. Grundannahme bei der Ableitung der Formeln für das Gleichgewicht und die Bewegung elastischer fester Körper 1136 f. Wirkung der Molecüle nach verschiedenen Richtungen 1137. Annahme von Clausius 1138 ff. Untersuchung von Koosen über die Fundamentalgesetze für die Elasticität und das Gleichgewicht im Innern homogener Körper 1139. Theorie der relativen Bewegung 1140.

Zusammenziehung des ausfließenden Strahles, s. Ausfluß I, 626.

Zweiarmiger (doppelarmiger) Hebel, s. Hebel III, 707.

Zweielementige (zweigliedrige) Säule, s. Säule, galvanische V, 661.

Zweischattige, s. Schatten V, 713.

Zweilicht, s. Dämmerung II, 1.

Zwillinge, s. Krystall IV, 382.

RETURN TO → CIRCULATION DEPARTMENT
202 Main Library

LOAN PERIOD 1	2	3
HOME USE		
4	5	6

ALL BOOKS MAY BE RECALLED AFTER 7 DAYS

Renewals and Recharges may be made 4 days prior to the due date.

Books may be Renewed by calling 642-3405.

DUE AS STAMPED BELOW

AUG 8 1986

AUTO. DISC.

AUG 12 1986

FORM NO. DD6,

UNIVERSITY OF CALIFORNIA, BERKELEY
BERKELEY, CA 94720



YD 28976

GENERAL LIBRARY - U.C. BERKELEY



8000993636

